

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
**ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
**КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ РОСЛИННИХ ПОЛІМЕРІВ**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Гомеля М.Д.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проект**  
**на здобуття ступеня бакалавра**  
**з напрямку підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього**  
**середовища та збалансоване природокористування»**  
**на тему: «Модернізація установки підготовки води для підживлення**  
**теплових мереж»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи ЛЕ-51

Ромас Дар'я Костянтинівна

\_\_\_\_\_

Керівник:

К.т.н., старший викладач

Трус І.М.

\_\_\_\_\_

Консультант з розділу «охорона праці»:

Доцент, к.т.н., доцент

Ковтун І.М.

\_\_\_\_\_

Рецензент:

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проекті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2019 року

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

| № з/п | Формат | Позначення           | Найменування                 | Кількість листів | Примітка |
|-------|--------|----------------------|------------------------------|------------------|----------|
| 1     | A4     |                      | Завдання на дипломний проект | 2                |          |
| 2     | A4     | ДП ЛЕ5130. 00.019 ПЗ | Пояснювальна записка         | 55               |          |
| 3     | A1     | ДП ЛЕ5130. 01.019 ГП |                              | 1                |          |
| 4     | A1     | ДП ЛЕ5130. 02.019 П  |                              | 1                |          |
| 5     | A1     | ДП ЛЕ5130. 03.019 ТС |                              | 1                |          |
| 6     | A1     | ДП ЛЕ5130. 04.019 ТК |                              | 1                |          |
| 7     | A1     | ДП ЛЕ5130. 05.019 ТК |                              | 1                |          |
| 8     | A1     | ДП ЛЕ5130. 06.019 ТК |                              | 1                |          |
|       |        |                      |                              |                  |          |
|       |        |                      |                              |                  |          |
|       |        |                      |                              |                  |          |
|       |        |                      |                              |                  |          |
|       |        |                      |                              |                  |          |
|       |        |                      |                              |                  |          |
|       |        |                      |                              |                  |          |
|       |        |                      |                              |                  |          |
|       |        |                      |                              |                  |          |
|       |        |                      |                              |                  |          |
|       |        |                      |                              |                  |          |
|       |        |                      |                              |                  |          |
|       |        |                      |                              |                  |          |

|           |            |       |      |                                 |  |        |
|-----------|------------|-------|------|---------------------------------|--|--------|
|           |            |       |      | ДП ЛЕ51 30.000.00               |  |        |
|           | ПІБ        | Підп. | Дата | Відомість<br>дипломного проекту | Лист   | Листів |
| Розробн.  | Ромас Д.К. |       |      |                                 |  | 55     |
| Керівн.   | Трус І.М.  |       |      |                                 | КПІ ім. Ігоря<br>Сікорського<br>Каф. ЕтаТРП<br>Гр. ЛЕ-51 |        |
| Консульт. |            |       |      |                                 |  |        |
| Н/контр.  |            |       |      |                                 |  |        |
| Зав.каф.  |            |       |      |                                 |  |        |

**Пояснювальна записка  
до дипломного проекту  
на тему: «Модернізація установки підготовки води для  
підживлення теплових мереж»**

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра екології та технології рослинних полімерів**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки (програма професійного спрямування) – 6.040106

«Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Гомеля М.Д.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

**Ромас Дар'ї Костянтинівні**

1. Тема проекту «Модернізація установки підготовки води для підживлення теплових мереж», керівник проекту Трус І.М., к.т.н., старший викладач, затверджені наказом по університету від «22» 05 2019 р. №1323

2. Термін подання студентом проекту 10 червня 2019 року

3. Вихідні дані до проекту каламутність – до 0,5 мг /дм<sup>3</sup>; кольоровість – до 20 град; жорсткість – 4,0– 5,2 мг-екв/дм<sup>3</sup>; концентрація іонів Ca<sup>2+</sup> – 3,2 – 4,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>; концентрація іонів магнію – 0,8– 1,2 мг-екв/дм<sup>3</sup>; концентрація сульфатів – 27– 59 мг /дм<sup>3</sup>; концентрація хлоридів – 15 – 45 мг /дм<sup>3</sup>; концентрація SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup> – 15 мг /дм<sup>3</sup>; рН – 6,3 – 7,8; лужність – 3,7 – 4,9 мг /дм<sup>3</sup>; витрата води - 100 м<sup>3</sup>/добу.

4. Зміст пояснювальної записки: вступ; технологічна частина; характеристики вихідної та вимоги до очищеної води; розробка та обґрунтування технологічної схеми очищення води; теоретичні данні про хімічні і фізичні процеси, що реалізуються в даній технологічній схемі водоочищення; матеріальний баланс; технологічні та гідравлічні

розрахунки очисних споруд; будівельна частина; охорона праці; висновки; перелік посилань; додатки.

5. Перелік графічного матеріалу: таблиць – 5; ілюстрацій – 11; доповнень – 4; креслень на А1 – 5(технологічна схема підготовки води для підживлення теплових мереж, таблиця характеристики води, план на відм. +0,000 м; поздовжній переріз; поперечний переріз; генеральний план підприємства.

6. Консультанти розділів проекту

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|---------------|---|----------------|------------------|
|               |   | завдання видав | завдання прийняв |
| Охорона праці | Ковтун І.М., доцент                       |                |                  |

7. Дата видачі завдання 15 квітня 2019 р.

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проекту | Термін виконання етапів проекту | Примітка |
|-------|---|---------------------------------|----------|
| 1     | Проходження переддипломної практики       | 15.04.2019-19.05.2019           |          |
| 2     | Обґрунтування технологічної схеми         | 20.05.2019-25.05.2019           |          |
| 3     | Розрахунок матеріального балансу          | 26.05.2019-31.05.2019           |          |
| 4     | Розрахунок та вибір споруд                | 01.06.2019-04.06.2019           |          |
| 5     | Розроблення графічної частини             | 05.06.2019-09.06.2019           |          |
|       |   |                                 |          |
|       |   |                                 |          |
|       |   |                                 |          |
|       |   |                                 |          |

Студент

Ромас Д.К.

Керівник проекту

Трус І.М.

## АНОТАЦІЯ

Дипломний проект на тему «Модернізація установки підготовки води для підживлення теплових мереж».

Пояснювальна записка: 55 с.; 5 табл.; 11 ілюстрацій; 16 посилання; 4 додатки; 5 креслень на А1

Пояснювальна записка складається зі сторінок основного тексту і включає наступні розділи: вступ; технологічна частина: характеристики вихідної та вимоги до очищеної води, опис процесів, які реалізуються за спроектованою технологічною схемою, розрахунок матеріального балансу; розрахунок і вибір устаткування очисних споруд у відповідності з заданою продуктивністю установки; будівельна частина; охорона праці; висновки; перелік посилань та додатки.

Метою проекту є розрахунок і вибір найбільш ефективних споруд водоочистки для технологічної схеми підготовки води для підживлення теплових мереж.

**ВОДОПІДГОТОВКА, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ,  
ФІЛЬТРУВАННЯ, КАТІОНООБМІННИЙ ФІЛЬТР,  
АНІОНООБМІННИЙ ФІЛЬТР, КОРОЗІЯ**

|           |      |            |        |      |   |                   |      |         |
|-----------|------|------------|--------|------|---|-------------------|------|---------|
|           |      |            |        |      | <b>ДП ЛЕ 51.30. 00.019 ПЗ</b>   |                   |      |         |
|           |      |            |        |      |   |                   |      |         |
| Змн.      | Лист | № докум.   | Підпис | Дата | Атестаційний бакалаврський проект<br>на тему: «Модернізація установки<br>підготовки води для підживлення<br>теплових мереж» | Літ.              | Арк. | Акрушів |
| Розроб.   |      | Ромас Д.К. |        |      |   |                   |      | 55      |
| Перевір.  |      | Трус І.М.  |        |      |   |                   |      |         |
| Реценз.   |      |            |        |      |   |                   |      |         |
| Н. Контр. |      |            |        |      |   |                   |      |         |
| Затверд.  |      |            |        |      |   | <b>ІХФ, ЛЕ-51</b> |      |         |

## АННОТАЦИЯ

Дипломный проект на тему «Модернизация установки подготовки воды для подпитки тепловых сетей».

Пояснительная записка: 55 с .; 5 табл .; 11 иллюстраций; 16 ссылки; 4 приложения; 5 чертежей на А1

Пояснительная записка состоит из страниц основного текста и включает следующие разделы: введение; технологическая часть: характеристики исходной и требования к очищенной воды, описание процессов, которые реализуются в спроектированной технологической схеме, расчет материального баланса; расчет и выбор оборудования очистных сооружений в соответствии с заданной производительностью установки; строительная часть; охрана труда; выводы; перечень ссылок и дополнения.

Целью проекта является расчет и выбор наиболее эффективных сооружений водоочистки для технологической схемы подготовки воды для подпитки тепловых сетей.

**ВОДОПОДГОТОВКА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА, ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ, ФИЛЬТРОВАНИЕ, КАТИОНООБМЕННЫЙ ФИЛЬТР, АНИОНООБМЕННЫЙ ФИЛЬТР, КОРРОЗИЯ**

|           |      |            |        |      |   |                   |      |         |
|-----------|------|------------|--------|------|---|-------------------|------|---------|
|           |      |            |        |      | <b>ДП ЛЕ 51.30. 00.019 ПЗ</b>   |                   |      |         |
|           |      |            |        |      |   |                   |      |         |
| Змн.      | Лист | № докум.   | Підпис | Дата | Атестаційний бакалаврський проект<br>на тему: «Модернізація установки<br>підготовки води для підживлення<br>теплових мереж» | Літ.              | Арк. | Акрушів |
| Розроб.   |      | Ромас Д.К. |        |      |   |                   |      | 55      |
| Перевір.  |      | Трус І.М.  |        |      |   |                   |      |         |
| Реценз.   |      |            |        |      |   |                   |      |         |
| Н. Контр. |      |            |        |      |   |                   |      |         |
| Затверд.  |      |            |        |      |   | <b>ІХФ, ЛЕ-51</b> |      |         |

## SUMMARY

Diploma project on the topic "Modernization of water treatment plant for heating networks".

Explanatory note: 55 s .; 11 tabl .; 11 illustrations; 16 links; 4 application; 5 blueprints on A1

The explanatory note consists of the pages of the main text and includes the following sections: introduction; technological part: characteristics of the initial and demand for purified water, description of the processes that are implemented according to the designed technological scheme, calculation of material balance; calculation and selection of equipment for treatment facilities in accordance with the given installation performance; building part; Occupational Health; conclusions; a list of references and additions.

The purpose of the project is to calculate and select the most effective water purification facilities for the technological scheme of water preparation for the replenishment of thermal networks.

**WATERPROOFING, BLOCK-SCHEME, TECHNOLOGICAL SCHEME, HEAT NETWORKS, FILTRATION, CATION-FILTER, ANONIT-FILTER, CORROSION**

|           |            |          |        |      |   |                   |      |         |
|-----------|------------|----------|--------|------|---|-------------------|------|---------|
|           |            |          |        |      | <b>ДП ЛЕ 51.30. 00.019 ПЗ</b>   |                   |      |         |
|           |            |          |        |      |   |                   |      |         |
| Змн.      | Лист       | № докум. | Підпис | Дата | Атестаційний бакалаврський проект<br>на тему: «Модернізація установки<br>підготовки води для підживлення<br>теплових мереж» | Літ.              | Арк. | Акрушів |
| Розроб.   | Ромас Д.К. |          |        |      |   |                   |      | 55      |
| Перевір.  | Трус І.М.  |          |        |      |   | <b>ІХФ, ЛЕ-51</b> |      |         |
| Реценз.   |            |          |        |      |   |                   |      |         |
| Н. Контр. |            |          |        |      |   |                   |      |         |
| Затверд.  |            |          |        |      |   |                   |      |         |



## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП.....   | 4  |
| 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....   | 6  |
| 1.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХІДНОЇ ТА ВИМОГИ ДО ОЧИЩЕНОЇ ВОДИ, ШО ВИКОРИСИТОВУЄТЬСЯ ДЛЯ ПІДЖИВЛЕННЯ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ ..... | 6  |
| 1.2. РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ.....  | 9  |
| 1.3. ТЕОРЕТИЧНІ ДАННІ ПРО ХІМІЧНІ І ФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ, ЩО РЕАЛІЗУЮТЬСЯ В ДАНІЙ ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СХЕМІ ВОДООЧИЩЕННЯ....  | 12 |
| 1.3.1. Процеси іонного обміну.....   | 12 |
| 1.3.2. Регенерація іоніту.....   | 14 |
| 1.3.3. Зневоднення осадів.....   | 16 |
| 1.4. МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС.....  | 19 |
| 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ ОЧИСНИХ СПОРУД.....  | 27 |
| 2.1. Розрахунок резервуару приймальної камери.....   | 27 |
| 2.2. Розрахунок іонообмінної установки.....  | 27 |
| 2.3. Розрахунок реактора.....  | 28 |
| 2.4. Розрахунок витратного баку з розчином NaOH.....   | 28 |
| 2.5. Розрахунок витратного баку з розчином Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....                                   | 29 |
| 2.6. Розрахунок розчинного і витратного баків NaCl.....  | 29 |
| 2.7. Розрахунок резервуару з регенераційним розчином.....  | 29 |
| 2.8. Розрахунок резервуару з кислими стоками.....  | 30 |
| 2.9. Розрахунок фільтру з залізним завантаженням .....   | 30 |
| 2.10. Розрахунок резервуару з чистою водою.....  | 32 |
| 2.11. Розрахунок шламосховища.....   | 32 |
| 2.12. Розрахунок вакуумно-стрічкового фільтру.....   | 32 |
| 2.13. Вибір насосів.....   | 33 |
| 3. БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА.....   | 34 |
| 3.1. Об'ємно-планувальне вирішення будівлі.....  | 34 |

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 2    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

|   |    |
|---|----|
| 3.2. Вибір конструктивних елементів будівлі.....                      | 34 |
| 3.3. Розміщення очисних споруд.....                                   | 38 |
| 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....   | 40 |
| 4.1. Повітря робочої зони.....  | 40 |
| 4.2. Виробниче освітлення.....  | 41 |
| 4.3. Захист від виробничого шуму та вібрацій.....                     | 43 |
| 4.4. Пожежа та електробезпека.....                                    | 44 |
| 4.5. Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання..... | 46 |
| ВИСНОВКИ.....   | 48 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....                                   | 49 |
| ДОДАТКИ.....  | 51 |

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 3    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## ВСТУП

Жодне підприємство в своїй діяльності не може обійтися без споживання води. Залежно від цілей, для яких дана рідина призначена, її можна розділити на три групи. По-перше, вода в промисловості використовується на побутові і господарські цілі. Вона не пов'язана з виробничим циклом, а призначається для достатнього забезпечення собою всіх працівників підприємства під час їх перебування на робочих місцях. У технологічних процесах за рахунок своїх прекрасних теплообмінних властивостей рідина може виступати в ролі прекрасного відвідників тепла або, навпаки, нагріваючись до високих температур, здатна передавати певну кількість теплової енергії в робочу зону. Не останню роль відіграє вода в самому технологічному циклі. Вона є поширеним компонентом при приготуванні необхідних компонентів, напівфабрикатів.

Теплові електростанції здавна набули широкого застосування у теплоенергетиці. Вони не тільки виробляють електроенергію, але і є джерелом теплової енергії у вигляді пари та гарячої води в централізованих системах тепlopостачання, також забезпечують гаряче водопостачання та опалення житлових будинків та промислових об'єктів.

У вітчизняній та закордонній енергетиці, з промислової точки зору, теплоелектроцентралі є домінуючим підприємством з виробництва електроенергії. Теплові електростанції виробляють близько 70 % електрогенеруючих потужностей в Україні.

На станціях, які відносяться до теплоелектроцентралей, передбачається попереднє очищення води для подачі її до котельного відділу до норм якості оптимальних. Норми якості підживлювальної води залежать від типу котлів та тиску. У воді, яку подають на підживлення, повинні бути відсутніми завислі речовини, солі, які створюють твердість води, розчинений кисень, тому що наявність цих речовин сприяє утворенню накипу, спінюванню котельної води, виносу солей з паром та корозію.

Очищення води для підживлення теплових мереж у більшості випадків здійснюють за системою, що складається з іонного обміну. Ця система

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 4    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

дозволяє досягти практично повного знесолення води, що є необхідною вимогою у подальшому її використанні. З плином часу та розвитком науки, необхідності економії природних та енергетичних ресурсів, автоматизації та екологізації, більшість технологій очистки живильної води є застарілими та мало ефективними. Тому виникає необхідність у розробці нових технологій та модернізації застарілих.

Метою бакалаврського дипломного проекту є модернізація установки підготовки води для підживлення теплових мереж.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 5    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 1.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХІДНОЇ ТА ВИМОГИ ДО ОЧИЩЕНОЇ ВОДИ

В природній і водопровідній воді містяться різні солі, гази, колоїдні речовини, які викликають внутрішню корозію обладнання та трубопроводів, що згодом зменшує термін їх служби, а також призводять до утворення шламу в воді і відкладень (накипу) на поверхнях. В результаті цих процесів зменшується прохідний перетин труб, погіршується теплопередача в теплообмінних апаратах. Щоб уникнути зазначених явищ в системах тепlopостачання та в циклах ТЕЦ і котелень здійснюється спеціально підготовленою підживлюючою водою.

Якість підживлювальної води має відповідати певним технічним, а для теплових мереж додатково і санітарно-гігієнічним вимогам. З технічної точки зору якість підживлювальної води повинна бути такою, щоб не відбувалися процеси корозії металу і накипоутворення на поверхні. Це можливо тільки при повній відсутності домішок у воді. Повністю усунути всі домішки у воді дуже складно і дорого, тому на практиці воду очищають тільки до певних меж, які є екологічно та економічно доцільними.

З техніко-економічних позицій допустима ступінь очищення води залежить від умов водно-хімічних режимів в підживлювальних контурах: чим вище температура і тиск в них, тим інтенсивніше протікають процеси корозії і накипоутворення, а також від характеру шкідливих наслідків від накипоутворення.

Відкладення солей у вигляді накипу на поверхнях і утворення шламу у воді при існуючому рівні температур в теплових мережах відбувається в основному внаслідок розкладання бікарбонатів двовуглекислих солей кальцію і магнію, які містяться у воді за рівняннями:



Монокарбонати  $\text{CaCO}_3$  і  $\text{MgCO}_3$  випадають у вигляді осадів і відкладаються на поверхнях у вигляді твердих кірок накипу. Особливо тверду кірку дає вуглекислий кальцій  $\text{CaCO}_3$ .

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 6    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

За змістом солей кальцію і магнію у воді характеризується жорсткість води, яка поділяється на карбонатну (тимчасову), некарбонатну (постійну) і загальну (сумарну).

Карбонатна (тимчасова) жорсткість визначається за змістом у воді легко розчинних при нагріванні солей кальцію і магнію, тобто за змістом бікарбонатів  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  і  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ . Некарбонатна (постійна) жорсткість визначається за змістом інших солей кальцію і магнію ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaSO}_3$ ,  $\text{MgSO}_3$  і ін.), які важко розчиняються у воді. Загальна (сумарна) жорсткість визначається за сумарним вмістом всіх солей кальцію і магнію у воді.

Жорсткість води вимірюється в мг-екв/кг і мкг-екв/кг або мг-екв/л і мкг-екв/л, які характеризують масовий зміст, мг або мкг катіонів кальцію і магнію в 1 кг або 1 л води.

Корозія сталевих трубопроводів і обладнання в теплових мережах викликається в основному розчиненими у воді газами: киснем  $\text{O}_2$  і двоокисом вуглецю  $\text{CO}_2$ , а також солями сірчаної  $\text{H}_2\text{SO}_4$  і соляної  $\text{HCl}$  кислот, які є і каталізаторами кисневої та углекислотної корозії.

Кисень, що міститься у воді, при контакті з металом з'єднується з ним, внаслідок чого піддаються корозії сталеві труби. Чим вище концентрація кисню в воді, тим більше корозія металу.

Агресивні якості води, що залежать від вмісту в ній двоокису вуглецю  $\text{CO}_2$ , оцінюються індексом насичення води карбонатом кальцію, який визначається за рівнянням

$$I = \text{pH} - \text{pH}_s, \quad (1.1)$$

де  $\text{pH}$  - фактична величина показника концентрації іонів водню в воді (десятковий логарифм величини концентрації іонів водню, узятий з протилежним знаком,  $\text{pH} = \lg C_{\text{H}^+}$ );

$\text{pH}_s$  - значення  $\text{pH}$  в стані рівноважного насичення води карбонатом кальцію.

Чим більше міститься в воді  $\text{CO}_2$ , тим нижче концентрація іонів водню в воді. Тому, якщо  $\text{pH} < \text{pH}_s$ , тобто.  $I < 0$ , то вміст  $\text{CO}_2$  у воді у великій кількості. Це перешкоджає протіканню реакцій по рівняннях (1.1) і (1.2). Вода має

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 7    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

безпосередній контакт з металом, що веде до посиленої корозії. Отже, така вода є корозійно-агресивною. Якщо  $pH > pH_s$ , тобто  $I > 0$ , то вміст  $CO_2$  у воді менше  $s$  рівноважної концентрації. Це сприяє розкладанню бікарбонатів  $Ca(HCO_3)_2$  і  $Mg(HCO_3)_2$  і утворення на поверхні труб шару накипу, що захищає від корозії. Отже, така вода є корозійно-неагресивною.

Хлориди і сульфати також викликають корозію металу і є каталізаторами процесів корозії. Крім того, вони руйнують карбонатну плівку на поверхні труб, що інтенсифікує процеси кисневої та вуглекислотної корозії.

Поряд з технічними вимогами подживлювальної води теплових мереж, вода повинна задовольняти санітарно-гігієнічним вимогам: в ній не повинні бути присутніми шкідливі для здоров'я людини домішки, а в системах з безпосереднім водорозбором показники її повинні відповідати показникам питної води. Не дозволяється застосування дистильованої води, так як вона порушує травлення і діяльність залоз внутрішньої секреції. Строго регламентується і гранично допустимий вміст у питній воді різних токсичних речовин і добавок, які застосовуються для очищення та освітлення води.

Характеристики вихідної води, яка поступає на очищення:

1. Каламутність – до  $0,5 \text{ мг /дм}^3$
  2. Кольоровість – до 20 град.
  3. Жорсткість –  $4,0 \text{ мг-екв/дм}^3$  –  $5,2 \text{ мг-екв/дм}^3$
  4. Концентрація іонів  $Ca^{2+}$  –  $3,2 \text{ мг-екв/дм}^3$  –  $4,0 \text{ мг-екв/дм}^3$
  5. Концентрація іонів магнію –  $0,8 \text{ мг-екв/дм}^3$  –  $1,2 \text{ мг-екв/дм}^3$
  6. Концентрація сульфатів –  $27 \text{ мг/дм}^3$  –  $59 \text{ мг /дм}^3$
  7. Концентрація хлоридів –  $15 \text{ мг /дм}^3$  –  $45 \text{ мг /дм}^3$
  8. Концентрація  $SiO_3^{2-}$  –  $15 \text{ мг /дм}^3$
  9.  $pH$  – 6,3 – 7,8
  10. Лужність –  $3,7 \text{ мг /дм}^3$  –  $4,9 \text{ мг /дм}^3$
- Витрата води -  $100 \text{ м}^3/\text{добу}$

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 8    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Таблиця 1.1. – Допустимі концентрації забруднюючих речовин для підживлення теплових мереж за ДСанПіН 2.2.4-171

| Показники якості води | Одиниці виміру         | Допустима концентрація за ДСанПіН 2.2.4-171 |
|-----------------------|------------------------|---|
| Жорсткість            | мг-екв/дм <sup>3</sup> | < 0.0001                                    |
| Кислотність           | мг-екв/дм <sup>3</sup> | < 50  |
| Хлориди               | мг/дм <sup>3</sup>     | 350   |
| Сульфати              | мг/дм <sup>3</sup>     | 500   |
| Мінералізація         | мг/дм <sup>3</sup>     | 1000  |

## 1.2. РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

В основному, магістральні теплові мережі мають велику протяжність. Для будівництва магістральних теплових мереж використовуються сталеві трубопроводи. На магістральних теплопроводах в умовах наявності декількох теплогенеруючих підприємств роблять закольцовку, які об'єднують їх в одну мережу, що дозволяє збільшити надійність постачання теплом споживачів.

Теплова мережа надає можливість розподіляти навантаження між теплогенеруючими підприємствами. В якості теплоносія у магістральних теплових мережах використовується спеціально підготовлена вода. При водопідготовці нормуються такі показники: вмісту кисню, карбонату жорсткості, показник рН і показник вмісту заліза. Непідготовлена вода в теплових мережах в якості теплоносія не може бути використана через виникнення відкладень і корозії під впливом високих температур, що призведе до підвищеного зносу трубопроводів і обладнання.

Для забезпечення надійної роботи трубопроводів, теплових енергоустановок і іншого устаткування водопідготовка теплових мереж повинна періодично організовуватися.

Спеціалізованою проектною організацією проводиться вибір способів водопідготовки теплових мереж, яка повинна враховувати якість вихідної

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 9    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



води, призначення котельні, конструкції теплоспоживаючого обладнання, санітарні вимоги до теплоносія, умови безпеки експлуатації, техніко-економічні показники.

Устаткування, призначене для водоочищення теплових мереж, має бути захищене спеціальним антикорозійним покриттям, або ж обладнання проводиться з подібного матеріалу.

Водопідготовка теплових мереж запобігає утворенню накипу на внутрішніх поверхнях конструкційних елементів і перешкоджає розвитку корозії.

Вибір технологічної схеми підготовки води для підживлення теплових мереж обумовлений її фізико-хімічними властивостями і вимогами до її якості.

Схема підготовки води для підживлення теплових мереж передбачає двоступеневе катіонування (K1 та K2) та аніонування (A1). Для пом'якшення води та вилучення з неї солей жорсткості використовують катіоніт КУ-2-8 у  $\text{Na}^+$ -формі. Для знекиснення води використовують АВ-17-8  $\text{SO}_3^{2-}$ -формі. Після того, як іоніт вичерпає свою обмінну ємність, проводиться регенерація іонобмінної смоли. Регенерацію сильноокислотного катіоніту КУ-2-8 проводити 10%-м розчином  $\text{NaCl}$ , високоосновного аніоніту АВ-17-8 – розчином  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ .

З приймальної камери (1) вода подається на катіонообмінні фільтри I та II ступенів (2,3), після чого надходить в резервуар пом'якшеної води (4). Після резервуару вода насосом (7) подається в фільтр з залізним завантаженням (5) та переходить на очищення в аніонообмінний фільтр (6), де відбувається знекиснення води, потім насосом подається до споживача. Катіонообмінні фільтри регенерується розчином  $\text{NaCl}$ , який потрапляє в фільтри з витратних баків (8, 9). Після регенерації стоки потрапляють в резервуар регенераційних розчинів (11), після чого вони надходять у реактор та відстійник (15), куди дозують  $\text{NaOH}$  та  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  з витратних баків (13, 14). Шлам з реактора (15) потрапляє в шламосховище (16), після чого йде на утилізацію. Далі після відновлення стоки насосом (7) подаються на стрічковий фільтр (17), потім

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 10   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

очищений NaCl повертається в витратний бак для подальшої регенерації фільтрів.

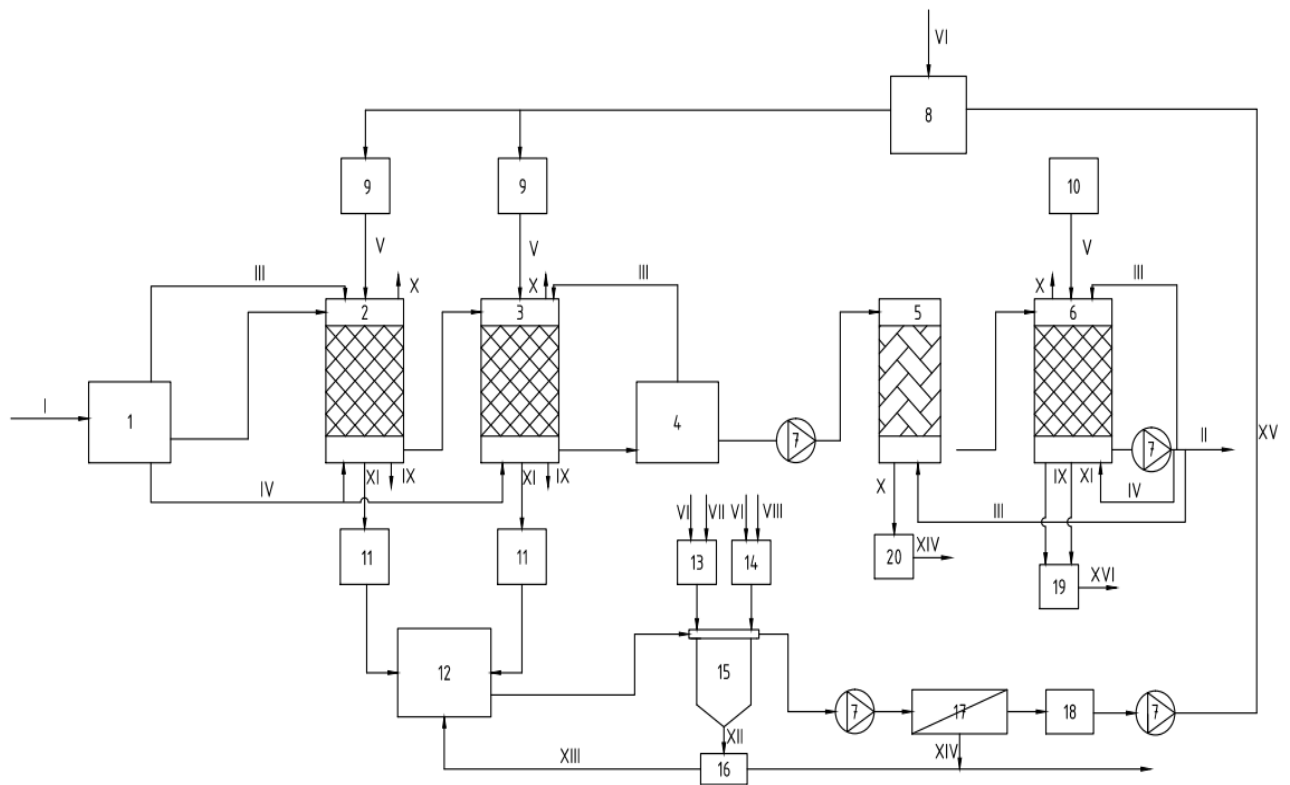


Рисунок 1.1 – Технологічна схема підготовки води для підживлення теплових мереж:

1 – приймальна камера; 2,3 – катіонообмінний фільтр I, II ступеню; 4 – резервуар пом'якшеної води; 5 – фільтр із залізним завантаженням; 6 – аніонообмінний фільтр; 7 – насоси; 8,9 – витратні баки NaCl; 10 – витратний бак  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ; 11, 12 – резервуар регенераційних розчинів; 13 – витратний бак NaOH; 14 – витратний бак  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; 15 – реактор і відстійник; 16, 20 – шламосховище; 17 – стрічковий фільтр; 18 – бак очищеної NaCl; 19 – нейталізатор; I – подача води на очищення; II – подача води до споживача; III – подача води на промивку; IV – подача регенераційного розчину; V – подача води на розведення реагентів; VI – подача NaOH; VII – подача  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; VIII – скид води після спущення; IX – скид промивних вод; X – стоки після регенерації; XI – осад до фільтр-пресу; XII – подача очищеної NaCl для регенерації.

### 1.3. ТЕОРЕТИЧНІ ДАНІ ПРО ХІМІЧНІ І ФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ, ЩО РЕАЛІЗУЮТЬСЯ В ДАНІЙ ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СХЕМІ ВОДООЧИЩЕННЯ

#### 1.3.1. Процеси іонного обміну

У даній технологічній схемі реалізуються процеси іонного обміну: катіонування (видалення катіонів); аніонування (видалення аніонів).

Простота процесу головна перевага іонного обміну. Основним недоліком іонообмінного процесу є необхідність переробки і утилізації кислих і лужних стоків та утилізації засолених стоків після нейтралізації.

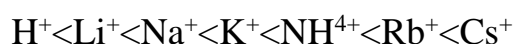
Іонний обмін застосовують при вилученні з води солей для видалення з води іонів важких та кольорових металів. Також цей метод застосовують для вилучення з води органічних речовин, які здатні до іонізації або дисоціації у воді.

Щоб вилучити з води катіони використовують катіоніти, аніони – аніоніти. Процес іонного обміну – це процес вилучення певного виду іонів із розчину при їх заміні на іони того ж знаку в іонообмінному матеріалі. Нерозчинну у воді речовину на поверхні якого є хімічно зв'язані із нерозчинним матеріалом функціональні групи здатні до дисоціації називають іонообмінний матеріал або іонообмінна смола. Групи, які здатні до дисоціації називають потенціалвизначаючими йонами. Йони які компенсують заряд потенціалвизначаючих йонів (фіксуючих іонів) і знаходяться в розчині називаються протийонами.

Процес іонного обміну – це процес заміни протийонів, що знаходяться поряд з поверхнею іоніту на протийони, які знаходяться в розчині. Селективність іоніту по певних іонах є рушійною силою процесу. В процесі іонного обміну двохзарядні іони краще сорбуються за однозарядні і завжди витісняють останні з іоніту. Трьохзарядні іони краще сорбуються ніж двохзарядні і так далі. Це пов'язано з більш сильним електростатичним притягуванням полізарядних іонів в порівнянні з однозарядним.



Якщо іони з однаковим зарядом, то з них краще сорбуються іони із меншим радіусом гідратної оболонки або із більшим власним радіусом.



|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 12   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Там де є в стічних водах складна суміш катіонів велике значення має селективність їх сорбції катіонітами.

В залежності від типу протиіонів іоніти поділяють на: катіоніти, аніоніти та поліамфоліти. Фіксованими групами в катінітах є карбоксильні, фосфонатні, сульфонатні кислотні групи.

Аніони є потенціал визначаючими, а катіони - протиіонами.

В залежності від сили кислотної групи привитої на полімер катіоніти поділяють на: слабо кислотні (карбоксильні групи); катіоніти середньої сили (фосфонатні групи); сильно кислотні (сульфатні групи).

Іонообмінні матеріали з поверхнею яких зв'язані амінні або амонійні групи називають аніонітами. Амінні або амонійні групи бувають катіонного характеру. Протиіонами в них є аніони.

Аніоніти поділяються на: низькоосновні (містять первинні, вторинні та третинні аміногрупи); аніоніти середньої сили (містять амінні та амонійні групи); високоосновні аніоніти –(містять четвертинні амонійні групи).

Поліамфоліти - це іоніти до полімерної матриці яких приєднані катіонні та аніонні групи називаються.

Форму іоніту визначають в залежності від типу протиіонів, які знаходяться в іоніті, визначають. В кислій або сольовій формі може бути катіоніт, в основній або сольовій формі – аніоніт.

В процесі експлуатації іонообмінних фільтрів завжди реалізуються стадії сорбції та регенерації фільтру.

Порядок роботи фільтру наступний:

- фільтрування води з вилученням певних іонів;
- відключення іонообмінного фільтру на регенерацію після насичення його іонами;
- спущення іонообмінного матеріалу зворотнім током води перед регенерацією;
- регенерація іонообмінного фільтру;
- промивка фільтру після регенерації.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 13   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

На першій стадії катіонування затримуються катіони з максимальним зарядом, а на останній – однозарядні катіони. Сильнокислотні катіоніти в  $H^+$  формі використовують для видалення однозарядних катіонів, слабокислотні катіоніти та катіоніти середньої сили - для вилучення дво та тризарядних катіонів (інколи і сильнокислотні катіоніти в  $Na^+$  або  $H^+$  формі (в залежності від умов очищення)).

Коли слабокислотні катіоніти та катіоніти середньої сили знаходяться в  $H^+$  формі вони ефективно сорбують катіоніти при наявності в розчині в достатніх кількостях гідрокарбонатних аніонів. При переході протонів при наявності гідрокарбонатів у розчині утворюється вугільна кислота, яка виділяється з розчину у вигляді вуглекислого газу, що запобігає підкисленню води.

Іони важких та кольорових металів сорбують слабокислотні катіоніти. Вони мають досить високу селективність до важких і кольорових металів та низьку селективність до іонів кальцію та магнію. Це дозволяє видалити важкі та кольорові метали при їх застосуванні в присутності солей жорсткості води.

На першій стадії катіонування складність процесу регенерації іонітів від дво- та тризарядних катіонів – це головна перешкода застосування сильнокислотних катіонітів. Селективність катіоніту по цих іонах досить висока, тому необхідно використовувати значний надлишок реагенту при регенерації. Ємність сильнокислотних катіонітів по одно- та двозарядним катіонам досить велика.

Для вилучення аніоніту з води, в залежності від якості води та вимог до очищеної води, використовують одно- та двохступеневе аніонування. Як правило стадія аніонування іде після стадії катіонування. Одноступеневе аніонування з використанням низько основних аніонітів застосовують при наявності в воді лише аніонів сильних кислот або при відсутності обмежень щодо вмісту аніонів слабких кислот. Ці аніоніти легко регенеруються розчинами лугу або інших основних реагентів, мають значну обмінну ємність по аніонах сильних кислот.

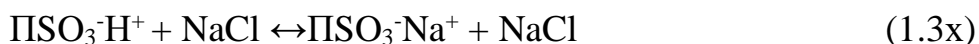
### 1.3.2 Регенерація іоніту

Дуже важливим етапом іонообмінного очищення води є процес відновлення ємності іоніту. Так як вони мають високу ціну іонообмінних

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 14   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

матеріалів, можна сказати, що застосування іоніту може бути економічно доцільним лише за ефективною регенерації іоніту.

Процес регенерації іоніту зводиться до переведення іоніту в вихідну форму після втрачання його ємності в процесі іонообміну. Для катіонів, що використовуються в кислій формі процес іонного обміну можна описати рівнянням:

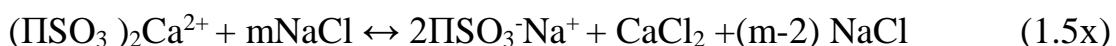


Процес регенерації здійснюють при обробці іоніту 5 ÷ 7% - ними розчинами кислоти при надлишку кислоти 2 - 3 г-екв на один г-екв ємності іоніту. Тобто:

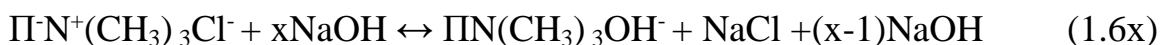


де  $n = 2 - 3$

Для проведення катіоніту в вихідну  $\text{Na}^+$  - форму його обробляють 10% - ним розчином  $\text{NaCl}$ .



Для переведення аніоніту в вихідну  $\text{OH}^-$  – форму іоніт обробляють 4%-ним розчином лугу.



Для переведення іоніту в  $\text{Cl}^-$  - форму його обробляють розчинами хлориду натрію.



З рівнянь видно, що регенераційні розчини містять залишки реагентів, які використовувались для регенерації іоніту.

Переробка таких відпрацьованих регенераційних розчинів, що завжди є складними сумішами є окремою цікавою темою. На справді, без вирішення проблеми утилізації регенераційних розчинів застосування іонного обміну не можливо.

Процес регенерації іоніту описується вихідною кривою десорбції іонів. Крива будується залежність концентрації іонів, що десорбуються від об'єму пропущеного регенераційного розчину, або відносної витрати регенераційного розчину, що визначається як відношення об'єму регенераційного розчину до об'єму іоніту.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 15   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$q_n = V_{p.p.}/V_i \quad (1.2)$$

де  $V_{p.p.}$  - Об'єм пропущеного регенераційного розчину;  $V_i$ - об'єм іоніту

Основна маса сорбованих іонів вимивається при  $q_n=3-4$ . Це відбувається при вдало вибраній концентрації регенераційного розчину. Про ефективність десорбції можна судити по залежності ступеню десорбції ( $Z$ , %) від питомої витрати регенераційного розчину ( $q_n$ ).

При вдало вибраній концентрації регенераційного розчину основна маса іонів десорбується при  $q_n = 3 - 4$  ( $Z > 90 \%$ )

Ефективність регенерації слабо і сильно дисоційованих іонітів істотно різниться. Слабо дисоційованому іоніти можуть бути регенеровані практично без надлишку кислоти або лугу. Сильно диссоційовані іоніти вимагають обов'язкового надлишку. Чим вище бажана ступінь регенерації і, отже, робоча ємність, тим більше повинен бути цей надлишок

Регенерація може проводитися при русі регенеруючого розчину через шар іоніту в тому ж напрямку, що очищається розчин - прямоточна регенерація, або в протилежному - протиточна регенерація.

Паралельноточну (прямоточна) регенерацію можна найбільш просто здійснити, тому і найбільш поширена. Однак для досить повного витіснення всіх катіонів з шару іоніту вона вимагає істотного (2-3-кратного) надлишку регенеруючого агента. Через «розмазування» найбільш сорбуючих іонів по шару іоніту, вони виявляються в результаті в нижній частині його шару, там, де з нього виходить очищена вода; якість очищення, особливо в перший час, виявляється недостатньо високим.

Протиточна регенерація реалізується складніше. Вона може проводитися з мінімальною витратою реагентів і обсягом відходів. Оскільки очищений розчин на виході з фільтра контактує з найбільш регенерованим іонітом, якість очищення максимальна.

### 1.3.3 Зневоднення осадів

При обробці осаду досягаються його стабілізація (або мінералізація), зневоднення (зменшення об'єму) і знезараження. Застосування одного будь-якого методу не дозволяє вирішити проблему, тому доводиться використовувати

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 16   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

поєднання методів стосовно до конкретного складу стічних вод, технологічною схемою очищення, умовам експлуатації очисних споруд та практичної можливості використання осаду.

Для зменшення обсягу активного мулу, що утворюється на очисних спорудах, його ущільнюють. Ущільнення одночасно зі зменшенням обсягу призводить до збільшення питомого опору і, отже, до зниження ефективності зневоднення. Активний мул без ущільнення через його малі концентрації зневоднювати нерационально з економічної точки зору, але враховуючи, що його питомий опір при ущільненні зростає дуже різко, слід вибирати оптимальну ступінь ущільнення.

Стабілізація осаду різними методами застосовується для запобігання його загнивання при зберіганні в природних умовах, а також для зменшення обсягу осаду в результаті розкладання органічної речовини.

Стабілізація або мінералізація органічної речовини осаду може здійснюватися в анаеробних умовах (метанове бродіння) і в аеробних умовах (окислення органічної речовини бактеріями при аерації осаду повітрям).

Фільтр-преси призначені для механічного зневоднення осадів стічних вод, а також осадів водопідготовки та виробничих шламів.

Стрічкові фільтр-преси повсюдно застосовуються на очисних спорудах стічних вод завдяки своїй високій продуктивності та надійності.

Для осадів з вихідною вологістю більше 97,5% доцільно застосовувати комбіновані установки згущення та зневоднення осаду: стрічковий фільтр-прес зі стрічковим згущувачем, що надбудовується зверху. Це рішення підвищує продуктивність за вихідним осадом за рахунок збільшення довжини зони гравітаційного зневоднення.

Зневоднений осад очисних споруд каналізації після фільтр-пресу досягає залишкової вологості приблизно 75-80% з середньою дозою флокулянту 2-3,5 кг/т сухої речовини осаду.

Фільтр-преси призначені для використання з осадами стічних вод з рН=6,0-9,0.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 17   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



Фільтр-преси виготовлюються з корозійностійкої сталі AISI 304, а їх високонавантажувальні вали – з вуглецевої сталі, яка покрита шаром міцного полімеру.

Стрічковий фільтр-прес конструктивно представляє собою встановлену на рамі систему валів, між якими натягнуті дві (верхня і нижня) безкінечні стрічки, з'єднані у безкінечні полотна. На фільтр-пресі передбачені два вузла промивки стрічок, пристрій розподілу осаду по стрічці у зоні подачі осаду та пристрій зняття зі стрічок зневодненого осаду (кека).

При застосуванні для зневоднення осаду фільтр-пресів отримують осад вологістю 50 ... 70%. Рамні і камерні фільтр-преси є установками періодичної дії, стрічкові горизонтальні, вертикальні, барабанні фільтр-преси - безперервної дії. Продуктивність фільтр-пресів: для зброджених опадів з первинних відстійників - від 7 до 17 кг/(м<sup>2</sup>/год), для активного мулу - від 2 до 7 кг/(м<sup>2</sup>/год).

Перед механічним зневодненням осаду для зниження його питомого опору необхідно застосовувати реагентної обробку. Метод обробки осаду флокулянтами простий і безпечний в експлуатації, не вносить сторонніх додаткових компонентів, а в порівнянні з хлорним залізом значно менші дози флокулянтів знижують питомий опір осаду до величин, що дозволяють обробляти його на вакуум-фільтрах і фільтр-пресах, і при тому не вимагають застосування вапна.

Періодично потрібно регенерація фільтрувальної тканини 10% -ним розчином соляної кислоти.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 18   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

#### 1.4.МАТЕРІАЛЬНИЙ БАНАНС

Вихідні дані до розрахунку матеріального балансу наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Вихідні дані матеріального балансу

| Речовини  | Одиниці виміру     | Показник |
|---|--------------------|----------|
| Концентрація NaCl регенераційного розчину               | %                  | 10       |
| Густина розчину NaCl (10%)                              | г/см               | 1,07     |
| Концентрація Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>            | мг/дм <sup>3</sup> | 3,8      |
| Концентрація твердої фази в осаді                       | г/м <sup>3</sup>   | 100000   |
| Концентрація завислих речовин після реактора            | мг/дм <sup>3</sup> | 10       |
| Концентрація завислих речовин після стрічкового фільтру | мг/дм <sup>3</sup> | 0,5      |
| Вологість осаду після фільтр-пресу                      | %                  | 60       |
| Вологість осаду після стрічкового фільтру               | %                  | 5        |
| Концентрація NaOH                                       | %                  | 20       |
| Концентрація Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>            | %                  | 40       |

Матеріальний баланс розраховується за блок-схемою:

Рисунок 1.4 – Блок схема матеріального балансу

1 – приймальна камера; 2 – катіонообмінний фільтр I ступеню; 3 – катіонообмінний фільтр II ступеню; 4 – резервуар з пом'якшеною водою; 5 – витратний бак з NaCl; 6 – бак-накопичувач з NaCl; 7 – резервуар кислих стоків; 8 – витратний бак NaOH; 9 – витратний бак Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; 10 – реактор; 11 – стрічковий вакуум-фільтр; 12 – шламосховище; 13 – фільтр з залізною наважкою; 14 – аніонообмінний фільтр I ступеню; 15 – регенераційний бак NaOH

Повна продуктивність станції водопідготовки з урахуванням витрат води на власні потреби:

$$Q_n = \alpha \cdot Q_{\text{кор}}, \text{ м}^3/\text{добу} \quad (1.3)$$

$\alpha$ - коефіцієнт, що враховує витрату води на власні потреби станції

$\alpha = 1,07$  за повторного використання промивних вод від фільтрів.

$$Q_n = 1,07 \cdot 100 = 107 \text{ м}^3/\text{добу}$$

У вхідній воді перевищує допустиму концентрацію лише показник жорсткості, тому технологічна схема спрямована на зниження цього показника.

Розраховуємо об'єм іоніту в іонообмінній установці, м<sup>3</sup>:

$$W = \frac{Q(C_{\text{поч}} - C_{\text{пр}})}{nE_p}, \text{ м}^3 \quad (1.4)$$

Q - об'єм води, який знесолюють протягом доби, м<sup>3</sup>;

C<sub>поч</sub> – початкова концентрація даного типу іонів у воді, г-екв/м<sup>3</sup>

C<sub>пр</sub> – концентрація проскоку даного типу іонів, г-екв/м<sup>3</sup>; n - число регенерацій фільтру протягом доби.

n – число регенерацій фільтру (1 раз на 10 діб).

$$W = \frac{100(5-0,1)}{0,1 \cdot 1590} = 3,1 \text{ м}^3$$

Розрахуємо робочу ємність іоніту:

$$E_p = \alpha E_n - K q_n C_n, \text{ г-екв/м}^3 \quad (1.5)$$

E<sub>n</sub> - повна динамічна обміна ємність іоніту, г-екв/м<sup>3</sup>;

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 20   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$\alpha$  - коефіцієнт, котрий враховує ефективність або повноту регенерації іоніту (0.6-0.91);

$q_n$  –питома витрата води на промивку іоніту  $\text{м}^3/\text{м}^3$ , ( $q_n \approx 3 \div 5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ );

$K$  – коефіцієнт, який враховує повноту видалення іонів із промивної води, ( $K=0.5$  для катіонітів);

$C_n$  - концентрація іонів у промивній воді.

$$E_p = 0,8 \cdot 2000 - 0,5 \cdot 4 \cdot 5 = 1590 \text{ Г-екв/м}^3$$

Розраховуємо число регенерацій для другого кат іонообмінного фільтру:

$$n = \frac{Q(C_{\text{поч}} - C_{\text{пр}})}{WE_p} \quad (1.6)$$

$$n = \frac{100(0,1 - 0,01)}{3,1 \cdot 1600} = 0,002$$

Тобто фільтрі регенерується 1 раз на 50 діб.

$$E_p = 0,8 \cdot 2000 - 0,5 \cdot 4 \cdot 0,1 = 1600 \text{ Г-екв/м}^3$$

Витрата води на промивку I фільтру на добу:

$$q_{\text{пр1}} = 4 \cdot W \cdot n = 4 \cdot 3,2 \cdot 0,1 = 1,3 \text{ м}^3$$

Відповідно для другого:

$$q_{\text{пр2}} = 4 \cdot 3,2 \cdot 0,002 = 0,03 \text{ м}^3$$

Витрата води на спущення фільтру:

$$q_v = \frac{60}{1000} \cdot FIt, \text{ м}^3 \quad (1.7)$$

$F$  – площа фільтру,  $\text{м}^2$ ;

$I$  – інтенсивність подачі води на спущення ( $3\text{-}4 \text{ дм}^3/\text{с} \cdot \text{м}^2$ );

$t$  – час спущення іоніту ( $5\text{-}7 \text{ хв}$ )

$$q_v = \frac{60}{1000} \cdot 1,3 \cdot 3,5 \cdot 6 = 1,6 \text{ м}^3$$

Площу фільтру розраховують виходячи з об'єму іоніту та висоти шару іоніту:

$$F = \frac{W}{H} = \frac{3,2}{2,5} = 1,3 \text{ м}^2$$

Витрата води на спущення I фільтру на добу:

$$q_{v1} = q_{\text{пр}} \cdot n = 1,6 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ м}^3$$

Відповідно для другого:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 21   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$q_{B2} = 1,6 \cdot 0,002 = 0,003 \text{ м}^3$$

Витрата реагенту на регенерацію І іоніту на добу:

$$G_{p1} = \frac{W}{10m} E_p N q_p, \frac{\text{т}}{\text{добу}} \quad (1.8)$$

де  $G_p$  - витрата реагенту на регенерацію іоніту, кг;

$m$  - концентрація реагенту, %;

$N$  - еквівалентна маса реагенту;

$q_p$  - питома витрата реагенту на регенерацію іоніту, г екв/г екв (2,5-3).

$$G_{p1} = \frac{3,2}{10 \cdot 10} \cdot 1590 \cdot 58,5 \cdot 2,5 = 7,4 \text{ т/добу}$$

$$G_p^* = 7,4/10 = 0,74 \text{ т NaCl /добу(сухого)}$$

$$G_p - G_p^* = 7,4 - 0,74 = 6,7 \text{ т води/добу}$$

$$\text{Об'єм 10\%р-ну NaCl} = G_p / \rho = 7,4 / 1,07 = 6,9 \text{ м}^3 / \text{добу}$$

Витрата регенераційного розчину на добу для І фільтру

$$W_{p1} = 6,9 \cdot 0,1 = 0,7$$

$$\text{Для II фільтру: } W_{p2} = 6,9 \cdot 0,002 = 0,014$$

Відомо, що у воді концентрація іонів:

$$\text{Ca}^{2+} = 3,8 \text{ мг-екв/дм}^3, \text{ Mg}^{2+} = 1,2 \text{ мг-екв/дм}^3.$$

$$\text{Визначаємо дозу NaOH: } 1,2 \text{ г-екв/м}^3 \cdot 2000 \text{ м}^3 \cdot 40 \text{ г-екв} = 96 \text{ кг/добу}$$

$$\text{Визначаємо дозу Na}_2\text{CO}_3: 3,8 \cdot 2000 \cdot 53 = 403 \text{ кг/добу}$$

Для NaOH, витратний бак (концентрація розчину 20%):

$$96 \text{ кг} - 20\%$$

$$x - 80\%$$

$$x = 384 \text{ кг води}$$

Для Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, витратний бак (концентрація розчину 40%):

$$403 \text{ кг} - 40\%$$

$$x - 80\%$$

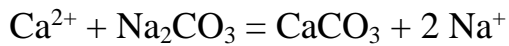
$$x = 604 \text{ кг води}$$

У реактор відправляється  $96 + 384 + 403 + 604 = 1487 \text{ кг} = 1,5 \text{ т}$  розчинів

Маса осаду CaCO<sub>3</sub>: визначимо масу іонів кальцію у воді :

$$m(\text{Ca}^{2+}) = M_{\text{екв}}(\text{Ca}^{2+}) \cdot C(\text{Ca}^{2+}) \cdot q_{\text{води}} \cdot 10^{-6} = 20 \cdot 3,8 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 0,01 \text{ т}$$

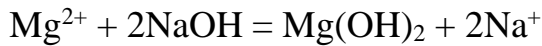
|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 22   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



$$m(\text{CaCO}_3) = (0,01 \text{ т} \cdot 100\text{г/моль}) / 40\text{г/моль} = 0,025 \text{ т}$$

Маса осаду  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  : визначимо масу іонів магнію у воді :

$$m(\text{Mg}^{2+}) = M_{\text{екв}}(\text{Mg}^{2+}) \cdot C(\text{Mg}^{2+}) \cdot q_{\text{води}} \cdot 10^{-6} = 12 \cdot 1,2 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 0,0014 \text{ т}$$



$$m(\text{Mg}(\text{OH})_2) = (0,0014\text{т} \cdot 58\text{г/моль}) / 24 \text{ г/моль} = 0,0034 \text{ т}$$

$$m_{\text{заг}}(\text{осаду}) = 0,025 + 0,0034 = 0,0284 \text{ т} = 28,4 \text{ кг}$$

$$\text{Концентрація осаду в розчині: } C = 28,4 \text{ кг/1,6 м}^3 = 17,75 \text{ кг/м}^3 = 17750 \text{ г/м}^3$$

Розрахунок об'єму осаду:

$$W = \frac{Q(C-m)}{\delta}, \text{ м}^3 \quad (1.9)$$

$m$  – концентрація завислих речовин на виході з реактора;  $m = 10 \text{ мг/дм}^3$

$\delta$  – концентрація твердої фази в осаді;  $\delta = 100000 \text{ мг/дм}^3$

$$W = \frac{1,6(17750-10)}{100000} = 0,3 \text{ м}^3$$

На стрічковий фільтр відправляється:

$$Q = 1,6 - 0,3 = 1,3 \text{ м}^3 \text{ розчину } (C_{\text{зав.реч}} = 10\text{мг/м}^3)$$

Розрахунок маси сухого осаду:

$$M_{\text{сух.ос.}} = \frac{Q \cdot (C-m)}{10^6}, \text{ т} \quad (1.10)$$

$$M_{\text{сух.ос.}} = \frac{1,6 \cdot (17750 - 10)}{10^6} = 0,03 \text{ т}$$

Розрахунок води, що міститься в осаді після зневоднення його до 50%:

$$M_{\text{сух.ос.}} = M_{\text{води}} = 0,03\text{т},$$

$$V_{\text{води}} = 0,27 \text{ м}^3 \text{ (повертається на очищення)}$$

Розрахунок маси осаду після зневоднення:

$$M_{\text{ос}} = V_{\text{в}} + M_{\text{сух.ос.}} = 0,03 + 0,03 = 0,06 \text{ т}$$

Об'єм осаду у стрічковому фільтрі:

$$W = \frac{QM_{\text{сух.ос.}}}{(100-B)} = \frac{1,3 \cdot 0,0000013}{(100-95)} = 0,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \quad (1.11)$$

Розрахунок маси осаду після фільтру:

$$M_{\text{сух.ос.}} = \frac{Q \cdot (C-m)}{10^6}, \text{ т} \quad (1.12)$$

$$M_{\text{сух.ос.}} = \frac{1,3 \cdot (10 - 0)}{10^6} = 0,0000013 \text{ т}$$

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 23   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Розрахунок об'єму осаду після фільтрів:

$$W = \frac{q_{\text{промив}} \cdot (C - n)}{\delta}, \text{ м}^3 \quad (1.13)$$

$q_{\text{промив}}$  – витрата води на промивку фільтру;

$$W = \frac{9,2 \cdot (103,3 - 20)}{40000} = 0,02 \text{ м}^3$$

$$C = \frac{M}{q_{\text{промив}}}, \text{ г/м}^3 \quad (1.14)$$

$$C = \frac{(10 - 0,5) \cdot 100}{9,2} = 103,3 \text{ г/м}^3$$

Розрахунок швидких фільтрів:

$$F = \frac{Q}{T \cdot V_n - 3,6 \cdot \omega \cdot n \cdot t_1 - t_2 \cdot V_n \cdot n}, \text{ м}^2 \quad (1.15)$$

$T$  – час роботи станції,  $T = 24$  год/добу;

$V_n$  – швидкість фільтрування,  $V_n = 6$  м/год;

$n$  – число промивок,  $n = 2$ ;

$t_1$  – час промивки фільтру,  $t_1 = 0,1$  год;

$t_2$  – час простою фільтра у зв'язку з промивкою,  $t_2 = 0,33$  год.

$$F = \frac{100}{24 \cdot 6 - 3,6 \cdot 16 \cdot 2 \cdot 0,1 - 0,33 \cdot 6 \cdot 2} = 0,8 \text{ м}^2$$

Розрахунок витрати води на промивку фільтрів:

$$q_{\text{промив}} = F \cdot \omega \cdot n \cdot t_1 \cdot 3,6, \text{ м}^3 \quad (1.16)$$

$$q_{\text{промив}} = 3,6 \cdot 16 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 0,1 = 9,2 \text{ м}^3$$

Розрахунок першої ступені аніонування. Використовуємо низькоосновний аніоніт - Dowex Marathon WBA

Для цієї стадії розраховуємо робочу ємність аніоніту:

$$E_p = 0,9 \cdot 1500 - 0,8 \cdot 5 \cdot 13 = 1300 \text{ г-екв/м}^3.$$

Приймаємо  $W_a = W_k$ ,

Тоді кількість регенерацій буде становити:

$$n_3 = 100 \cdot (13 - 0,1) / 3,1 \cdot 1300 = 0,3.$$

Отже, регенерація для А1 буде проводитися кожні 3 доби.

Регенерацію проводимо сумішшю 4 % NaOH.

$$G_p = 3,1 \cdot 1300 \cdot 2,5 \cdot 40 / (4 \cdot 10) = 10 \text{ т}.$$

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 24   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Добова витрата реагенту складає:

$$Gp_3 = Gr \cdot n_3 = 10 \cdot 0,3 = 3 \text{ т/добу.}$$

$$\rho(\text{NaOH}) = 1,043 \text{ г/см}^3.$$

$$Vp_3(\text{NaOH}) = m/\rho = 3/1,043 = 2,9 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Об'єм води для розведення регенераційного розчину:

$$3 - 100\%$$

$$x - 4\%$$

$$x = 3 \cdot 4 / 100 = 0,12 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{води}3} = 3 - 0,12 = 2,88 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Необхідна кількість води на спущення аніоніту після регенерації:

$$q_{\text{сп}3} = q_{\text{сп}} \cdot n_3 = 1,6 \cdot 0,3 = 0,5 \text{ м}^3.$$

Необхідна кількість води на промивку фільтру:

$$q_{\text{пр}3} = q_{\text{пр}} \cdot n_3 = 3,1 \cdot 0,3 = 0,93 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

У таблиці 1.3 наведені результати матеріального балансу.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 25   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



Таблиця 1.3 – Таблиця результатів матеріального балансу

| Назва потоку  | Значення потоку |        |
|---|-----------------|--------|
|   | м³/добу         | т/добу |
| Подача води резервуару пом'якшеної води на іонообмінну установку          | 107             |        |
| Подача води на промивку іоніту  | 2,2             |        |
| Подача води на спущення іоніту  | 0,7             |        |
| Злив в каналізацію промивних вод та вод після спущення                    | 2,9             |        |
| Подача розчину NaCl (10%) на регенерацію катіоніту                        | 0,7             |        |
| Подача кислих стоків до реактора  | 0,7             |        |
| Подача розчину NaOH в змішувач (20%)                                      |                 | 0,5    |
| Подача розчину Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> в змішувач (40%)           |                 | 1      |
| Відведення осаду з відстійника  | 0,3             |        |
| Подача розчину NaCl на ленточний фільтр                                   | 1,3             |        |
| Подача очищеного розчину NaCl (10%) у резервуар з регенераційним розчином | 1,3             |        |
| Повернення відпресованої води до реактора                                 | 0,27            |        |
| Подача сухого NaOH до витратного баку                                     |                 | 0,1    |
| Подача сухого Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> до витратного баку          |                 | 0,4    |
| Витрата води на розчинення NaOH   | 0,38            |        |
| Витрата води на розчинення Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                | 0,6             |        |
| Подача NaOH на регенерацію аніоніту                                       | 5,9             |        |
| Відведення очищеної води  | 100             |        |

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ ОЧИСНИХ СПОРУД

### 2.1. Розрахунок резервуару приймальної камери

Час перебування в резервуарі становить 0,5 години.

$$W_p = \frac{Q}{24} t, \text{ м}^3 \quad (2.1)$$

$Q$  – витрата води, м<sup>3</sup>/добу

$t$  - час перебування води в резервуарі, год

$$W_p = \frac{100}{24} \cdot 0,5 = 2,1 \text{ м}^3$$

Приймаємо висоту резервуару 2 м. Тоді площу резервуару становитиме:

$$F_p = \frac{W_p}{h}, \text{ м}^2 \quad (2.2)$$

$$F_p = \frac{2,1}{2} = 1,05 \text{ м}^2$$

Далі розраховуємо діаметр резервуару:

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_p}{\pi}}, \text{ м} \quad (2.3)$$

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{1,05}{3,14}} = 1,2 \text{ м}$$

### 2.2. Розрахунок іонообмінної установки

Площу фільтру розраховують виходячи з об'єму іоніту та висоти шару іоніту:

$$F = \frac{W}{H} = \frac{3,2}{2,5} = 1,3 \text{ м}^2$$

$H$  - висота шару іоніту, яка дорівнює 2,5 м.

Діаметр фільтру:

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{F}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1,3}{3,14}} = 1,3 \text{ м.}$$

Тривалість фільтроциклу обох апаратів розраховуємо за формулою:

$$T_0 = \frac{24 E_p W}{Q (C_{\text{поч}} - C_{\text{пр}}) n}, \text{ год} \quad (2.4)$$

$Q$  - об'єм води який знесолюєть протягом доби, м<sup>3</sup>;

$C_{\text{поч}}$  - початкова концентрація даного типу іонів у воді, г екв/м<sup>3</sup>;

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 27   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$C_{np}$  - концентрація проскоку даного типу іонів, г екв/м<sup>3</sup>;

$n$  – число регенерацій фільтру протягом доби (якщо фільтр регенерується раз в кілька днів то  $n$  буде дробне число);

$E_p$  – робоча ємність іоніту, г екв/м<sup>3</sup>.

$$T_0 = \frac{24 \cdot 1590 \cdot 3,1}{100(4,8 - 0,1)1} = 24 \text{ год}$$

Далі розраховуємо швидкість фільтрування:

$$V = \frac{Q}{T_0 n F}, \text{ м/год} \quad (2.5)$$

$n$  – число регенерацій

$$V = \frac{100}{24 \cdot 1 \cdot 1,3} = 3,5 \text{ м/год}$$

### 2.3. Розрахунок реактора

Обираємо реактор об'ємом 4 м<sup>3</sup>, прямокутний в розрізі, висота реактора становить 1 м, тому його площа:

$$F = \frac{W}{H} = \frac{4}{1} = 4 \text{ м}^2$$

Задаємось довжиною 2 м, отримуємо ширину реактора:

$$B = \frac{F}{L} = \frac{4}{2} = 2 \text{ м}$$

### 2.4. Розрахунок витратного баку з розчином NaOH

Визначаємо об'єм витратного баку NaOH:

$$W_B = \frac{q \cdot D_p \cdot t}{10000 \cdot \rho_B}, \text{ м}^3 \quad (2.6)$$

$W_B$  – об'єм розчинного баку;

$q$  – витрата води, м<sup>3</sup>/год;

$D_p$  – доза реагенту, г/м<sup>3</sup>;

$t$  – період роботи станції в годинах, що забезпечується даною кількістю реагенту;

$W_p$  – концентрація реагенту в розчинному баку (15-20), %;

$\rho$  – густина розчину, т/м<sup>3</sup>;

$$W_B = \frac{0,4/24 \cdot 1,11 \cdot 10^5 \cdot 24}{10000 \cdot 1,1 \cdot 10} = 0,4 \text{ м}^3$$

Розраховуємо площу перерізу, приймаємо висоту  $h=1$  м

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 28   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$F = \frac{W_p}{h} = \frac{0,4}{1} = 0,4 \text{ м}^2$$

Розраховуємо діаметр :

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{F}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,4}{3,14}} = 0,7 \text{ м}$$

## 2.5. Розрахунок витратного баку з розчином $\text{Na}_2\text{CO}_3$

Визначаємо об'єм витратного баку  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :

$$W_B = \frac{q \cdot d_p \cdot t}{10000 \cdot \rho_B} = \frac{0,6/24 \cdot 2,5 \cdot 10^5 \cdot 24}{10000 \cdot 1,247 \cdot 10} = 0,2 \text{ м}^3.$$

Розраховуємо площу перерізу, приймаємо висоту  $h=1 \text{ м}$

$$F = \frac{W_p}{h} = \frac{0,2}{1} = 0,5 \text{ м}^2$$

Розраховуємо діаметр :

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{F}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,5}{3,14}} = 0,8 \text{ м}$$

## 2.6. Розрахунок розчинних і витратних баків $\text{NaCl}$

Розраховуємо об'єм витратного баку  $\text{NaCl}$ :

$$W_p = \frac{q \cdot d_k \cdot t}{10000 \cdot \rho_B} = \frac{6,9/24 \cdot 2,5 \cdot 10^5 \cdot 24}{10000 \cdot 1,15 \cdot 20} = 14,28 \text{ м}^3,$$

Розраховуємо площу перерізу приймаючи висоту  $h=4 \text{ м}$ :

$$F = \frac{W_p}{h} = \frac{14,28}{4} = 3,57 \text{ м}^2$$

Розраховуємо діаметр :

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{F}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{3,57}{3,14}} = 2,1 \text{ м}.$$

## 2.7. Розрахунок резервуару з регенераційним розчином

Час перебування в резервуарі становить 0,5 години.

$$W_p = \frac{4}{24} \cdot 0,5 = 0,1 \text{ м}^3$$

Приймаємо висоту резервуару 1 м. Тоді площа резервуару становитиме:

$$F_p = \frac{W_p}{h} = \frac{0,1}{1} = 0,1 \text{ м}^2$$

Далі розраховуємо діаметр резервуару:

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_p}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,1}{3,14}} = 0,4 \text{ м}$$

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 29   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## 2.8. Розрахунок резервуару з кислими стоками

Час перебування в резервуарі становить 0,5 години.

$$W_p = \frac{13,6}{24} \cdot 0,5 = 0,28 \text{ м}^3$$

Приймаємо висоту резервуару 1 м. Тоді площа резервуару становитиме:

$$F_p = \frac{W_p}{h} = \frac{0,28}{1} = 0,28 \text{ м}^2$$

Далі розраховуємо діаметр резервуару:

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_p}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,28}{3,14}} = 0,6 \text{ м}$$

## 2.9 Розрахунок фільтру із залізним завантаженням

Розрахунок швидких фільтрів:

$$F = \frac{Q}{T \cdot V_H - 3,6 \cdot \omega \cdot n \cdot t_1 - t_2 \cdot V_H \cdot n}, \text{ м}^2 \quad (2.7)$$

$T$  – час роботи станції,  $T = 24$  год/добу;

$V_H$  – швидкість фільтрування,  $V_H = 6$  м/год;

$n$  – число промивок,  $n = 2$ ;  $t_1$  – час промивки фільтру,  $t_1 = 0,1$  год;

$t_2$  – час простою фільтра у зв'язку з промивкою,  $t_2 = 0,33$  год.

$$F = \frac{100}{24 \cdot 6 - 3,6 \cdot 16 \cdot 2 \cdot 0,1 - 0,33 \cdot 6 \cdot 2} = 0,8 \text{ м}^2$$

Кількість фільтрів:

$$N = \frac{\sqrt{F}}{2} = \frac{\sqrt{0,8}}{2} = 0,5 = 4$$

Площа одного фільтру:

$$F = \frac{0,8}{4} = 0,2 \text{ м}^2$$

Швидкість фільтрування у форсованому режимі:

$$V_\phi = \frac{N}{N - N_1} \cdot V_H \text{ м/год} \quad (2.8)$$

$N$  – число фільтрів;

$N_1$  – число фільтрів відключених на ремонт:  $N < 20$ ,  $N_1 = 1$

$$V_\phi = \frac{4}{4 - 1} \cdot 6 = 8 \text{ м/год}$$

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 30   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Розрахунок витрати води на промивку фільтрів:

$$q_{\text{промив}} = F \cdot \omega \cdot n \cdot t_1 \cdot 3,6, \text{ м}^3 \quad (2.9)$$

$$q_{\text{промив}} = 3,6 \cdot 16 \cdot 2 \cdot 809,21 \cdot 0,1 = 9322,1 \text{ м}^3$$

Загальна висота фільтру:

$$H = H_{\text{п.з.}} + H_{\text{ф.з.}} + H_{\text{в}} + h_6 = 0,7 + 1,5 + 2 + 0,3 = 4,5 \text{ м}$$

$H_{\text{п.з.}}$  – висота шару підтримуючого завантаження (0,7 м);

$H_{\text{ф.з.}}$  – висота шару фільтруючого завантаження (1,5 м);

$h_6$  – будівельний запас висоти (0,3 м);

$H_{\text{в}}$  – висота водного шару (2 м);

Зображуємо фільтри прямокутними в плані.

Площа перерізу колектора:

$$f_k = \frac{q_k}{V_k}, \text{ м}^2 \quad (2.10)$$

$V_k$  – швидкість руху води в колекторі при промивці,  $V_k = 1,8 \text{ м/с}$

$$f_k = \frac{0,92}{1,8} = 0,5 \text{ м}^2$$

Діаметр колектора розраховують:

$$d_k = 2 \cdot \sqrt{\frac{f_k}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{0,5}{3,14}} = 0,8 \text{ м}$$

Витрата води у відгалуженнях:

$$q_v = \frac{q_k}{n} = \frac{0,92}{50} = 0,02 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Число відгалужень при двосторонньому розміщенні:

$$n = \frac{2L \cdot 10^3}{l} \quad (2.11)$$

$l$  – відстань між відгалуженнями – 350 мм;

$$n = \frac{2 \cdot 8,8 \cdot 10^3}{350} = 50$$

Приймаємо ширину однієї секції фільтрів  $B = 1,2 \text{ м}$ , а довжину:

$$L = \frac{F}{B} = \frac{0,8}{1,2} = 0,7 \text{ м}$$

Діаметр відгалужень:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 31   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$d_B = 2 \cdot \sqrt{\frac{f_B}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,13}{3,14}} = 0,4 \text{ м}$$

Площа перерізу відгалуження:

$$f_B = \frac{q_B}{V_B} = \frac{0,2}{1,6} = 0,13 \text{ м}^2$$

$V_B$  – швидкість руху води у відгалуженні,  $V_B = 1,6$  м/с.

## 2.10. Розрахунок резервуару з чистою водою

Час перебування в резервуарі становить 0,5 години.

$$W = \frac{2000}{24} \cdot 0,5 = 41,7 \text{ м}^3$$

Приймаємо висоту резервуару 3 м. Тоді площу резервуару становитиме:

$$F_p = \frac{W_p}{h} = \frac{41,7}{3} = 13,9 \text{ м}^2$$

Далі розраховуємо діаметр резервуару:

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_p}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{13,9}{3,14}} = 4,2 \text{ м}$$

## 2.11. Розрахунок шламосховища

Площа шламосховища розраховується за формулою:

$$F_{ш} = \frac{W_{\Sigma}}{H}, \text{ м}^2 \quad (2.12)$$

де  $W_{\Sigma}$  - сумарний об'єм, який надходить у шламосховище;

$H$  – висота шламосховища, м.

$$F_{ш} = \frac{1,2}{2} = 0,6 \text{ м}^2$$

Діаметр шламосховища:

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_{ш}}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1,2}{3,14}} = 0,9 \text{ м.}$$

## 2.12. Вибір вакуумно-стрічкового фільтру

Виходячи з розрахунків було обрано вакуумно-стрічковий фільтр ЛОН-1,8, який призначений для фільтрування швидкоосаджувальних суспензій та має наступні характеристики: площа фільтруючої поверхні  $1,8 \text{ м}^2$ ; робочий тиск (вакуум) не більший  $0,068 \text{ МПа}$ ; робоча довжина вакуум-камери  $3,6 \text{ м}$ ; ширина

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 32   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

фільтруючої поверхні 500 мм; швидкість руху фільтрувальної стрічки 0,013-0,08 м/с; встановлена потужність не більша 4 кВт; габаритні розміри д/ш/в – 5300/1890/1435 мм; маса фільтру 2330-2470 кг.

### 2.13. Вибір насосів

У спроектованій технологічній схемі передбачено 2 типи насосів:

1) Для подачі води на іонообмінні установки, з витратою води 2000м<sup>3</sup>/добу, обрано насос ЕНП 100/63-6,3/8. Насос плунжерний, горизонтальний, моноблочний з електродвигуном, який призначений для перекачування неочищених комунально-побутових, промислових, стічних вод з температурою до 100°C. Подача повітря 100 м<sup>3</sup>/год. Напор 6,3 кг/см<sup>2</sup>. Частота обертання 980 об/хв. Потужність електронасоса 30 кВт. Розміри насоса 2324х1185х1902 мм.. Маса насосу 2100 кг.

2) Для подачі води на промивку фільтрів і спущування, а також для подачі NaCl до стрічкового фільтру і з нього обрано насос 40 РТ-22. Насос плунжерний, горизонтальний, моноблочний з електродвигуном, який призначений для перекачування неочищених комунально-побутових, промислових, стічних вод з температурою до 150°C. Подача повітря 2 м<sup>3</sup>/год. Напор 32 МПа. Частота обертання 750 об/хв. Потужність електронасоса 20 кВт. Розміри насоса 565х290х240 мм.. Маса насосу 40 кг.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 33   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



### 3. БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА

#### 3.1. Об'ємно-планувальне вирішення будівлі

Одноповерхова будівля каркасного типу, одно прольотна, ширина прогону 30 м, крок колон 6 м, висота поверху 14,4 м, довжина будівлі 108 м. В будівлі встановлений мостовий кран вантажопідйомністю 108 т, имвідмітка голівки кранового рельсу складає 11,75 м.

В прибудові розташовані адміністративно-побутові приміщення. Сітка колон складає 6х3 м, висота 3,6 м.

Зовнішні стіни будівлі крупнопанельні, з одношарових піносілікатних панелей. Товщина стіни складає 300 мм.

Прив'язка до крайніх поздовжніх розбивочних осей становить 250 мм, до крайніх поперечних – 500 мм. Колони при торцевих зовнішніх стінах розташовані на відстані від поперечних розбивочних осей на 500 мм.

Колони залізобетонні двогілкові; крок колон – 6 м; фундамент колон залізобетонний, стаканного типу.

Залізобетонні балки двотаврового перерізу прийняті в якості несучих конструкцій покриття. Покриття зі збірних залізобетонних плит 6х3 м. Вікна стрічкового виду з розмірами 6х7,2 м. Ворота розпашні розміром 4х4,2 м.

#### 3.2. Вибір конструктивних елементів будівлі

Вибрані залізобетонні двогілкові колони серії КЭ-01-52 для одноповерхових промислових будівель з мостовим краном: ширина колони  $b = 800$  мм,  $h = 600$  мм,  $h_H = 1400$ ,  $h_{\text{вет}} = 300$ , висота  $H = 15600$ , висота верхньої частини колони  $H_B = 4200$ . Колони розраховані на установку крану вантажопідйомністю 30 т.

Конструкція колон зображена на рисунку 3.1.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 34   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

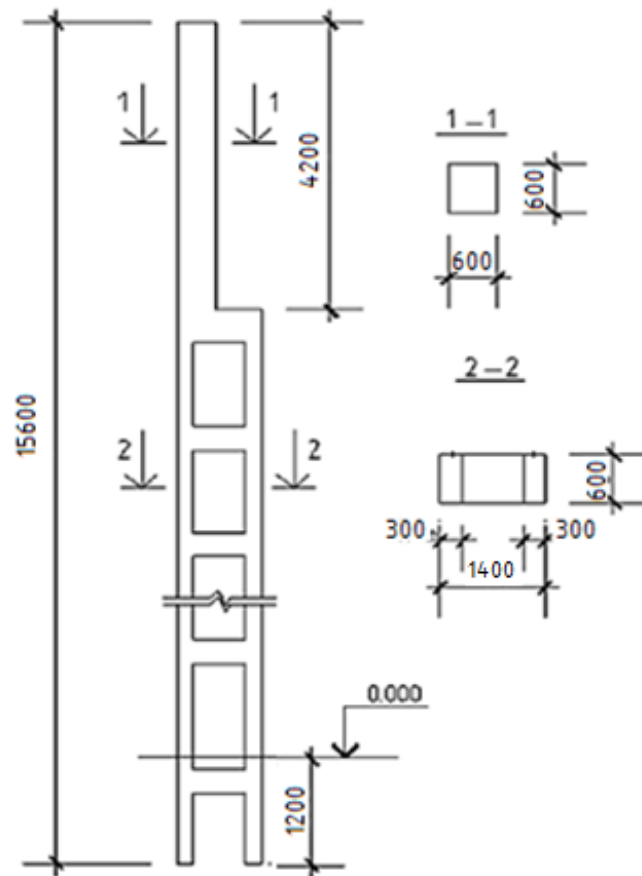


Рисунок 3.1 - Залізобетонна колона крайніх рядів

Для двогілкової колони з розмірами поперечного перерізу 500x1400 мм приймаємо підколонник з розмірами поперечного перерізу 2100x1200 мм.

Під колони вибраний стовпчастий двоступінчатий фундамент (рис.3.2), розмір склянки 1500x700 мм, підколінника 2100x1200 мм, підшва 2700x2100 мм, щаблі 3600x3000 мм, сходи плит висотою 300 мм.

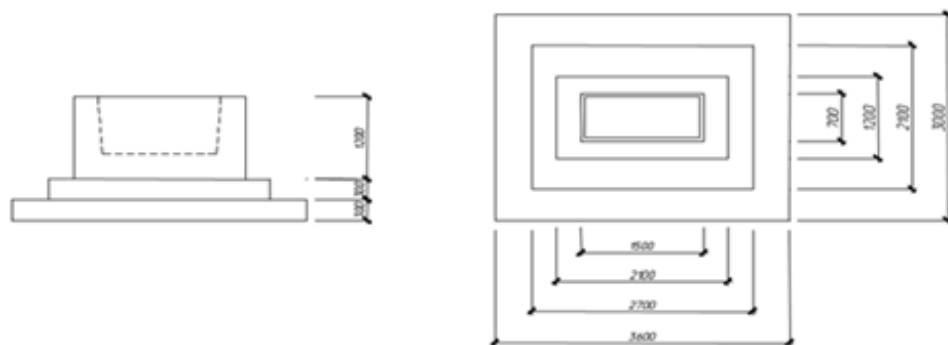


Рисунок 3.2 - Фундамент колон

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 35   |

Колони фахверку (рис 3.3) влаштовані вздовж прогону, висота колон 13700 мм,  $a*b=600*400$  мм.

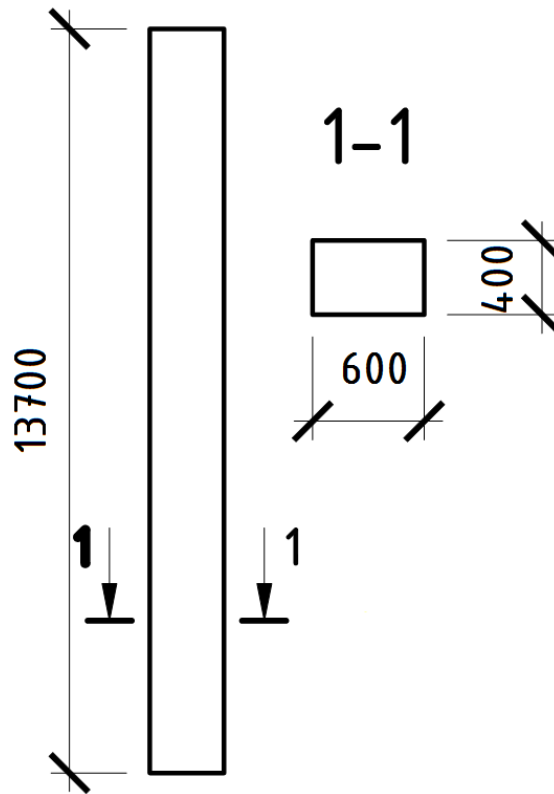


Рисунок 3.3 – Фахверкові колони (4КФ137-1)

Під колони фахверку вибраний фундамент: переріз колон 400х400 мм, підколонник 1000х1000 мм, підшва 1700х1700 мм, 2500х2500 мм, глибина стакана  $h_c = 800$  мм.

Підкранову балку (рис.3.4) двотаврового перерізу, довжиною 14 м.

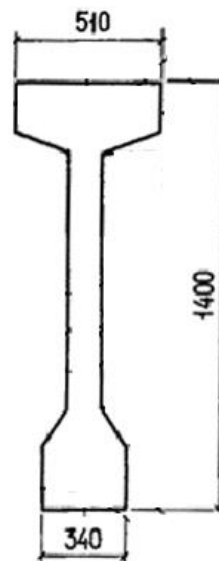


Рисунок 3.4 – Підкранова балка двотаврового перерізу

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 36   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Покриття влаштовано залізобетонними плитами (рис.3.5) розміром 6х3 м.

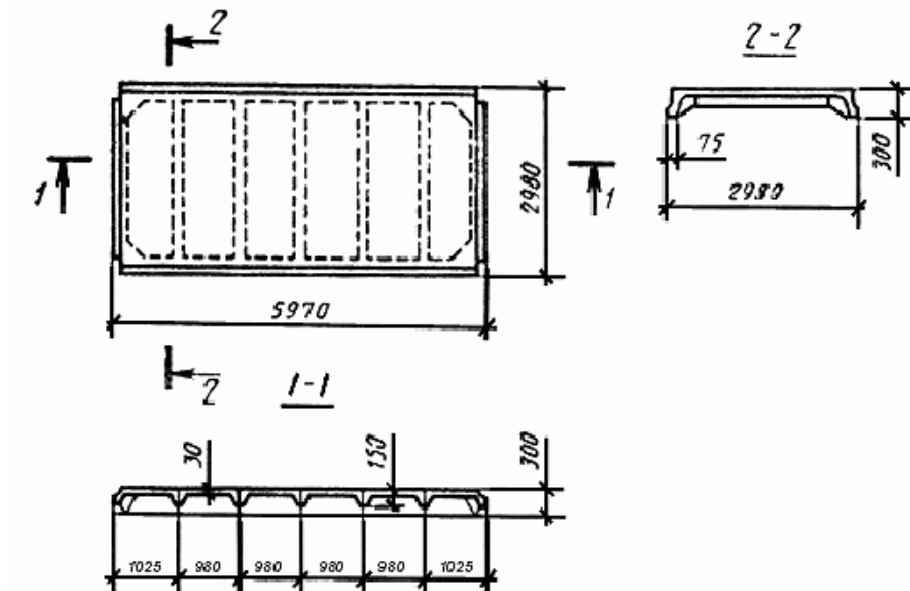


Рисунок 3.5 – Залізобетонні плити покриття

Проліт споруди становить 30 м, було обрано залізобетонну ферму (рис.3.6) покриття із паралельними поясами довжиною 30 м і висотою 3000 мм.

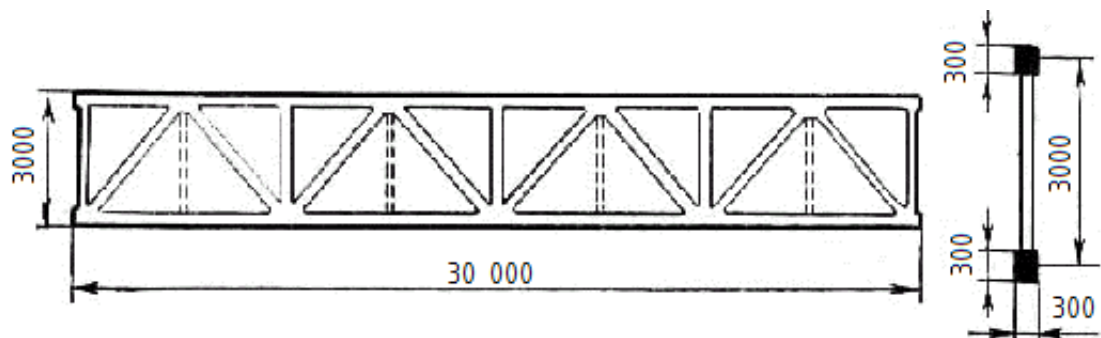


Рисунок 3.6 – Залізобетонна ферма покриття

До складу підлоги входить: гравій 100 мм, бітум (30 мм), бетон (50 мм), основа – ущільнений ґрунт.

До складу покриття входить: обмазка бітумом (10 мм), мінеральна вата (100 мм), цементно-піщана стяжка (10 мм), три шари руберойду на бітумній мастиці, гравій, втоплений в бітум (20 мм).

Вікна стрічкового виду (рис.3.7), вздовж стін будівлі встановлено 2 ряди вікон з дерев'яним переплетенням одинарного застління. Ширина вікон складає 6000 мм, висота 7200 мм.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 37   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

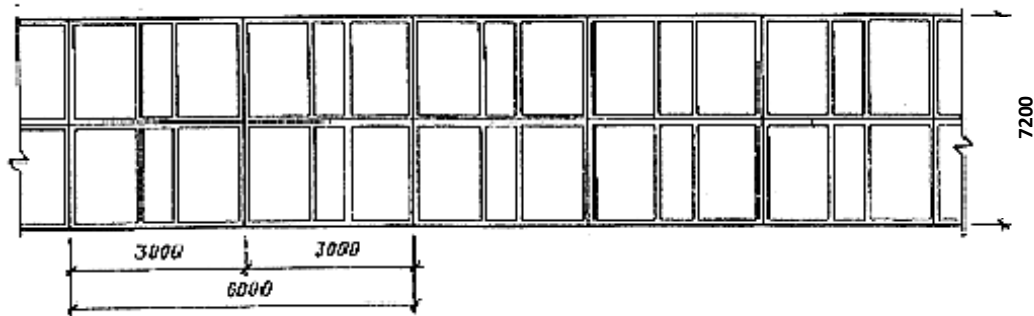


Рисунок 3.7 – Стрічкові вікна

Зовнішні двері будівлі однопільні. Полотно глухе, дерев'яне. Ширина дверей складає 1200 мм, висота 2000 мм.

За конструкцією ворота розпашні, складаються з двох дерев'яних полотен зі сталеву рамою. Ширина воріт 4000 мм, висота 4200 мм. Кількість воріт 1.

В адміністративно-побутовому приміщенні колони мають розміри 400×400 мм. Під колони обраний фундамент стаканного типу. Він має такі розміри: склянки -  $a_n \times b_n = 600 \times 600$  мм, підколонника -  $a \times b = 1000 \times 1000$  мм, підшва -  $a_1 \times b_1 = 2300 \times 1500$  мм, щаблі -  $a_2 \times b_2 = 1500 \times 1000$  мм. Сходи плит всіх фундаментів мають єдину уніфіковану висоту 300 мм. Глибина склянки  $h_c = 800$  мм.

Зовнішні стіни будівлі великопанельні, з одношарових піносілікатних панелей, товщина стіни складає 300 мм. Ригелі висотою 800 мм, плити покриття 3х6 м, висотою 450 мм.

До складу підлоги входить: 100 мм утрамбованого гравію, 100 мм гравію, 50 мм стяжка з бетону, 150 мм мінеральна вата, 25 мм цементна стяжка, 20 мм паркет.

Вікна роздільні з простінками, з верхнім підвісом. Ширина вікон становить 1500 мм, висота - 1420 мм. Двері одностулкові з глухим дерев'яним полотном. Ширина дверей становить 1200 мм, висота 2000 мм.

### 3.3. Розміщення очисних споруд

Очисні споруди розміщені у виробничому цеху на відмітці +0,000 м. На початку встановлено приймальну камеру ( $D=1,2$  м). На відстані 3 м від неї встановлено обладнання іонногообміну: катіонообмінні фільтри ( $D=1,3$  м), баки з регенераційним розчином ( $D=2,1$  м) та резервуари кислих стоків ( $D=0,4$  м), на

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 38   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

відстані 2 м один від одного. Далі на відстані 3 м встановлено резервуар очищеної води ( $D=1,2$  м), праворуч встановлено обладнання для регенерації кислих стоків: реактор ( $B=2$  м,  $L=2$  м), витратні баки  $\text{NaOH}$  ( $D=0,6$  м) та  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ( $D=0,8$  м), шламосховище ( $D=0,9$  м) та фільтр-прес ( $B=5,3$  м,  $L=1,9$  м). Далі на відстані 2 м встановлено аніонообмінний фільтр, бак з регенераційним стоком та резервуар відпрацьованого розчину ( $D=0,4$  м). На відстані 3 м від резервуару очищеної води встановлено блок фільтрів із залізним завантаженням ( $B=0,7$  м,  $L=1,2$  м).

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 39   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих для збереження життя й здоров'я працюючих у процесі праці.

Темою бакалаврського проекту є модернізація установки підготовки води для підживлення теплових мереж.

Устаткування цеху спроектоване й виготовлене з урахуванням принципів охорони праці. Для забезпечення безпечної роботи персоналу цеху велике значення має стан ремонтних приміщень, повітряного середовища, їхнє висвітлення, наявність вібрації і шуму.

У цьому розділі на підставі аналізу шкідливих і небезпечних виробничих чинників розроблені заходи зі створення здорових і безпечних умов праці для персоналу, який обслуговує цех підготовки води площею 1555 м<sup>2</sup>. Персонал має постійне робоче місце.

Розглянувши технологічну схему відділення можна прийти до висновку, що на виробництві використовуються шкідливі й небезпечні виробничі фактори, до складу яких входять: агресивні та токсичні речовини, пожежонебезпечні матеріали та речовини, електроенергія, механічна, теплова енергія та хімічні реакції. До небезпечного обладнання у відділенні можна віднести: апарати під тиском, апарати електричної та механічної дії. При проектуванні виробництва прийняті проектні рішення, які відповідають вимогам охорони праці.

Розроблено відповідні заходи для створення у виробничих приміщеннях оптимальних умов праці на основі аналізу шкідливих і небезпечних факторів.

### 4.1 Повітря робочої зони

Згідно ДСН 3.3.6.042-99, роботи, що виконуються на проектованій ділянці очистки води, здійснюються на постійних робочих місцях, витрати фізичної енергії відносяться до категорії Па.

У таблиці представлені прийняті проектом допустимі норми мікроклімату ділянки.

Таблиця 4.1 – Значення параметрів мікроклімату

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 40   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

| Пора року | Категорії робіт    | Температура, °C |           | Оптимальна вологість, % | Швидкість руху повітря, м/с |
|-----------|--------------------|-----------------|-----------|-------------------------|-----------------------------|
|           |                    | Оптимальна      | Допустима |                         |                             |
| Холодна   | Середньої важкості | 19-21           | 17-23     | 40-60                   | 0,2                         |
| Тепла     | Середньої важкості | 21-23           | 18-27     | 40-60                   | 0,3                         |

Температура внутрішніх поверхонь робочої зони, технологічного обладнання, зовнішніх поверхонь технологічного устаткування, огорожуючих конструкцій не перевищувати оптимальну температуру більш ніж на 2 °C для даної категорії робіт.

$$t_{\text{зов}} = t_{\text{опт.}} + 2 \text{ °C} = 20 + 2 = 22 \text{ °C}, \quad (4.1)$$

де  $t_{\text{зов}}$ . - температура зовнішньої поверхні обладнання,  $t_{\text{опт.}}$  - оптимальна температура, яка становить 20 °C для даного цеху.

В холодний і теплий період року контроль параметрів мікроклімату здійснюється не менше 3-х разів за зміну (на початку, в середині, в кінці). Прилади контролю - термометр, психрометр, анемометр.

За способом організації повітрообміну передбачено загальнообмінну, місцеву і комбіновану вентиляцію. У виробничих приміщеннях передбачено аварійну вентиляцію, так як можливе раптове викидання в повітря робочої зони великої кількості шкідливих або вибухонебезпечних речовин.

## 4.2 Виробниче освітлення

За зоровими умовами в цеху виконуються роботи за зоровими умовами, які відносять до VIIв розряду (ДБН В.2.5-28-2006). В таблиці представлено санітарні норми параметрів освітлення.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 41   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



Таблиця 4.2 - Санітарні норми параметрів штучного освітлення

| Характеристика зорової роботи | Розряд зорової роботи | Штучне освітлення                    |                       |                                   | Природне освітлення                    |                         | Суміщене освітлення                    |                         |  |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|--|-------------------------|--|-------------------------|--|
|                               |                       | Освітлення, лк                       |                       |                                   | КПО, %                                 |                         |  |                         |  |
|                               |                       | При системі комбінованого освітлення |                       | При системі загального освітлення | При верхньому або комбінованому світлі | При боковому освітленні | При верхньому або комбінованому світлі | При боковому освітленні |  |
|                               |                       | Усього                               | У т.ч. від загального |                                   |  |                         |  |                         |  |
| Груба                         | VІІв                  | -                                    | -                     | 30                                | 0,3                                    | 0,1                     | 0,2                                    | 0,1                     |  |

На підприємстві присутнє природне, штучне та комбіноване освітлення. Природне освітлення – бічне, здійснюється через вікна. Штучне освітлення представлене загальним і комбінованим. За функціональністю освітлення поділяється на робоче, аварійне, чергове і ремонтне.

Напруга системи живлення робочого та чергового освітлення 380/220 В, ремонтного – 36 В, аварійного – 12 В.

Аварійне освітлення забезпечується лампами типу Фм, що під'єднані до незалежної мережі струму.

Обладнання для очистки води розташовано в приміщенні в якому недостатньо природного освітлення, тому воно доповнюється штучним.

Штучне освітлення в цеху здійснюється за допомогою газорозрядних ламп низького тиску (люмінесцентні типу ЛБ-40). Тип ламп для приміщення з невеликою запиленістю і невисокою вологістю ЛПО-01 з суцільним відбивачем, а також пиловологонепроникні лампи типу ПВЛ-1, ПВЛ-2 (з розсіювачем) та дві люмінесцентні лампи потужністю 40 Вт кожна.

Контроль освітленості здійснюється люксметрами Ю-117 один раз на рік.

|     |      |          |        |      |                      |  |  |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|--|--|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка |  |  | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      |  |  | 42   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |  |  |      |

При мінімальному розмірі об'єкту розпізнавання 0,4 мм, середній яскравості фону і великому контрасті об'єкта розпізнавання з фоном – розряд зорових робіт III, підрозряд г.

Нормоване значення освітленості на робочому місці для III г розряду зорових робіт при системі штучного загального освітлення становить 200 лк ( $E_n = 200$  лк).

Світловий потік, що створює люмінесцентна лампа типу ЛД потужністю 40 Вт становить 2500 лм ( $F_l = 2500$  лм).

Розраховуємо індекс приміщення

$$i = a \cdot b / h \cdot (a + b) = 10 \cdot 6 / 3 \cdot (10 + 6) = 1,25 \quad (4,2)$$

Визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку

$$\eta = 46 \% = 0,46$$

Визначаємо фактичну освітленість, що створює у приміщенні задана система штучного загального освітлення

$$E_f = F_l \cdot N \cdot n \cdot \eta / S \cdot k_z \cdot z = 2500 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 0,46 / 60 \cdot 1,5 \cdot 1,1 = 232 \text{ лк}, \quad (4.3)$$

$$S = a \cdot b = 6 \cdot 10 = 60 \text{ м}^2 \quad (4.4)$$

Порівнюючи значення нормованої освітленості  $E_n = 200$  лк та фактичної –  $E_f = 232$  лк, робимо висновок, що фактична освітленість більше нормованої, що економічно не вигідно. Рекомендується зменшити кількість світильників або їх потужність.

#### 4.3 Захист від виробничого шуму та вібрацій

Насоси, ежектор, гідроелеватор та флотаційна камера є джерелами шуму та вібрації. Всі джерела шуму встановлені у виробничому відділенні, що облицьований звукоізолюючим матеріалом.

Допустимі рівні звуку в приміщеннях і на території підприємства, згідно ДСН 3.36.042-99, складають 80 дБА.

Для зниження вібрації і шуму машин, що виникає при їхній роботі використовують жорстке кріплення віброуючих деталей та вузлів, балансування (врівноваження) рухомих і особливо обертових деталей і механізмів; зміна числа оборотів джерела вібрації для збільшення розриву між власною частотою коливань і резонансною частотою; застосування динамічних віброгасників.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 43   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

На даному підприємстві рівень шуму дії на організм людини знижується за рахунок застосування автоматизованих систем керування; облицювання приміщень звукоізолюючим матеріалом, установка обладнання на ізоляційних фундаментах. Також використовуються спеціальні кожухи, установлені на насосах і флотаційній камері, виконані із алюмінієвих листів; заповнюються резонуючі порожнини спеціальними матеріалами (гумою, азбестом). Як засоби індивідуального захисту використовуються противошумні шоломи або навушники.

Для контролю шуму використовують шумоміри, для контролю вібрації вібраторомір ВШВ 003.

#### 4.4 Пожежна та електробезпека

Живлення електроустановок здійснюється від трьохфазної чотирьохпровідної електромережі змінного струму частотою 50 Гц, напругою 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю.

До основних причин електротравматизму обслуговуючого персоналу в цеху належать виникнення напруги на відключених струмових частинах внаслідок помилкового включення вимкненої установки чи замикання між вимкненими та струмоведучими частинами, які перебувають під напругою; виникнення напруги на металевих конструктивних частинах електрообладнання внаслідок пошкодження ізоляції струмопровідних частин; відсутність або несправність захисного відключення.

Для найбільш вірогідних шляхів протікання струму в тілі людини безпечними вважаються струми (ГОСТ 12.1.038-82):

а) при нормальному режимі роботи електрообладнання  $I_L = 0,3 \text{ мА}$ ,  $U_d = 2 \text{ В}$  – при дії  $< 10$  хвилин/доб.

б) при аварійному режимі роботи  $I_L = 6 \text{ мА}$ ,  $U_{\text{дот}} = 36 \text{ В}$  – при дії понад 1 секунду.

Розрахуємо допустимі рівні напруги дотику ( $U_d$ ) та струму, що проходить крізь тіло людини ( $I_L$ ) для неаварійного режиму при випадковому дотику обслуговуючого персоналу до одної фази вказаної вище електричної мережі та для аварійного режиму в разі дотику персоналу до корпусу електрообладнання. В

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 44   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

обох випадках струм, що проходить крізь тіло людини, буде однаковий і визначається за формулою:

$$I_{\text{л}} = U_{\text{ф}} \cdot 10^3 / R_{\text{люд}} + R'_0, \quad (4.5)$$

де  $U_{\text{ф}} = 200$  – фазова напруга В;  $R_{\text{люд}} = 2000$  – опір тіла людини Ом;  $R'_0 = 4$  – опір заземленої нейтралі Ом.

$$I_{\text{л}} = 220 \cdot 10^3 / 2000 + 4 = 110 \text{ мА} \quad (4.6)$$

Розраховане значення сили струму 110 мА більше безпечної сили струму (ГОСТ 12.1.038), тому струм небезпечний для людини. Напруга дотику визначається за формулою:

$$U_{\text{д}} = I_{\text{л}} \cdot R_{\text{л}}, \quad (4.7)$$

$$U_{\text{д}} = 0,11 \cdot 2000 = 220 \text{ В.}$$

Видно, що при порушенні вимог ПУЕ у цеху можуть мати місце електричні травми з тяжкими наслідками. Для забезпечення електробезпеки проектом прийнято наступні технічні засоби захисту: захисне відключення електроустановок; ізоляція струмопровідних частин обладнання (опір ізоляції електропроводів вище 0,5 МОм), до яких можливий дотик персоналу; електричний поділ мережі; електрозахисті засоби (взуття персоналу на гумовій підшві, діелектричні рукавички, інструмент з ізолюючими ручками); блокування, попереджувальна сигналізація; знаки безпеки, попереджувальні плакати. Електробезпека забезпечується недосяжністю електричних ланцюгів; організацією безпечної експлуатації електроустановок; усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах і інших частинах електроустаткування, що досягається застосуванням малих напруг, використанням подвійної ізоляції, вирівнюванням потенціалу, захисним зануленням.

Для забезпечення захисту від зарядів статичної електрики прийняті такі заходи: послаблення генерації зарядів на твердих тілах і в рідинах (за рахунок збільшення їхньої поверхневої провідності шляхом підвищення відносної вологості повітря, хімічної обробки поверхні, зменшення швидкості переміщення матеріалів, що заряджаються тощо); запобігання накопичення зарядів на

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 45   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

металевому устаткуванні (досягається заземленням металевих частин, на яких можуть з'явитись заряди).

Причинами пожежі в цеху можуть бути: перенавантаження електрообладнання; теплова дія; механічне пошкодження електромережі; прямий удар блискавки в будівлю.

Протипожежними заходами є: встановлення плавких запобіжників; використання стрижньових блискавковідводів.

Будівля корпусу хімічного цеху, збудована з негорючого матеріалу другого ступеня вогнестійкості. В якості сигналізації встановлені датчики типу ПОСТ 1 та телефонний зв'язок. З метою дотримання правил пожежної безпеки у проекті передбачено такі запобіжні заходи: розділення апаратів протипожежними перегородками на відсіки, обладнання протипожежних перешкод у вигляді гребенів, козирків, бортиків, протипожежний водопровід, ємності з піском і пожежні щити.

Передбачається захист ізоляції від теплового впливу. Захист від прямих ударів блискавки забезпечується завдяки стрижневим блискавковідводам. В цеху для пригнічення пожежі передбачено сухий пісок, азбестові ковдри, порошкові вогнегасники, які є найбільш універсальними в області застосування та за робочим діапазоном температур. В приміщенні є два евакуаційні виходи на випадок виникнення пожежі. Всі електроустановки захищені автоматичними пристроями від струмів короткого замикання.

#### **4.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання**

З метою безпеки проведення технологічного процесу усунуто безпосередній контакт працюючих зі шкідливими речовинами шляхом автоматизації виробництва, автоматизовано процес подачі допоміжних речовин, забезпечено герметичне промислове обладнання, а також сервісне обслуговування і ремонт установки.

Найбільшу небезпеку для персоналу, що обслуговує установку попередньої очистки представляють наступні наслідки, що виникають за рахунок неправильного ведення експлуатації, невмілого користування реагентами, незадовільного ремонту обладнання:

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 46   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

- розрив арматури;
- пошкодження фланців на арматурі;
- порушення щільності сальникових набивок;
- порізи при роботі зі скляними приладами та хімічним посудом;
- дозовані реагенти.

Для попередження нещасних випадків, травматизму передбачено:

- виконувати терміни огляду і ремонту трубопроводів коагулянта, лугу та вапняного молока, насосів-дозаторів і пов'язаних з ними арматури і зворотніх клапанів;
- забезпечувати огороження фланців і арматури реагентів захисними кожухами;
- забезпечуються робочі місця акумуляторними ліхтарями;
- робочі місця тримаються в чистоті;
- контроль за справністю арматури, інвентарю та інструментів;
- праця ведеться в спецодязі (костюм б/п, рукавиці, окуляри і т.п.) і в касці.

Концентрований розчин лугу може викликати сильні опіки шкіри. Попадання лугу в очі може призвести до їх важкого захворювання і навіть втрати зору. При попаданні розчину лугу на шкіру необхідно сухою серветкою (марлею) очистити поверхню, а потім промити уражене місце струменем води і нейтралізувати 5%-вим розчином оцтової кислоти та змазати вазеліном. При попаданні бризок розчину лугу в очі необхідно чистою сухою серветкою (хустинкою) видалити реагент, а потім промити очі водою і нейтралізувати 2%-вим розчином борної кислоти. Після надання першої медичної допомоги при попаданні лугу в очі треба негайно звернутися в медпункт чи в лікарню.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 47   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## ВИСНОВКИ

В ході виконання бакалаврського проекту на тему: «Модернізація установки підготовки води для підживлення теплових мереж» було виконано:

1. Описано характеристики вихідної та вимоги до очищеної води;
2. Розроблено та обґрунтовано технологічну схему підготовки води для підживлення теплових мереж;
3. Описано теоретичні дані про хімічні і фізичні процеси, що реалізуються в даній технологічній схемі, а саме: процеси іонного обміну, регенерація іоніту, зневоднення осадів;
4. Розраховано матеріальний баланс;
5. Розраховано та вибрано очисні споруди, які реалізуються в данній технологічній схемі;
6. Описано об'ємно-планувальне вирішення будівлі, обрано конструктивні елементи будівлі, описано розміщення очисних споруд;
7. Розроблено та описано заходи з охорони праці;
8. Виконано креслення в форматі A1 технологічної схеми підготовки води для підживлення теплових мереж, таблиця характеристики води, план на відм. +0,000 м; поздовжній переріз; поперечний переріз; генеральний план підприємства.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 48   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кульский, Л.А. Технология очистки природных вод: изд. 2-е, перераб. и доп. / Л.А. Кульский, П.П. Строкач; - К.: Полиграфкнига, 1985. – 336 с.
2. Запольский, А.К. Очистка воды коагулированием: [Монография] – Каменец-Подольский: ЧП «Медоборы-2006», 2011. – 296 с.
3. Лихачев, Н.И. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Справочник проектировщика [Текст] /Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин и др.; - М.: Стройиздат, 1981. – 635 с.
4. Лифшиц, О.В. Справочник по водоподготовке котельных установок. – М.: Энергия, 1976. – 286 с.
5. Теоретичні та практичні основи попередження карбонатного накипоутворення у водних теплообмінних системах, автореферат на дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук /Концевой С.А, НТУУ «КПІ», 2011 / на правах рукопису
6. Громогласов А.А. Водоподготовка: процессы и аппараты [Текст] / А.А. Громогласов, А.С. Копылов, А.Ц. Пильщиков. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 272 с.
7. Вихрев В.Ф. Водоподготовка / В.Ф. Вихрев, М.С. Шкроб. – М.: Энергия, 1973. – 416 с.
8. Концевой, А.Л. Алгоритмізація і програмування розрахунків процесу водопідготовки. Навчальний посібник: На правах рукопису / А.Л. Концевой, Н.М. Толстопалова. – К.: 2003. – 44 с.
9. Веселов, Ю.С. Водоочистное оборудование [Текст]: Конструирование и использование/ Ю.С. Веселов, И.С. Лавров, Н.И. Рукобратский .- Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. - 232 с.
10. М.Д. Гомеля, В.М, Радовенчик, Т.О. Шаблій. «Основи проектування очисних споруд» - К: «Інфодрук»,2013. – 175с.
11. Запольский А.К., Мішкова-Кліменко Н.А., Астрелін І.М. "Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод" – Київ, Лібра, 2000 – 552 с.
12. СНіП 2.04.02-84. "Водопостачання. Наружні мережі та споруди".
13. Трепененков Р.И. Альбом чертежей конструкций и деталей

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 49   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



промышленных зданий: Учебное пособие. М.:Стройиздат, 1978 г.- 378с.

14. С.В.Дятков Промышленные здания и их конструктивные элементы 390с. - М. 1971 г.

15. ДСанПіН 2.2.4-171-10., Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною.

16. Родионов А.И., Клушин В.Н., Торочешников П.С. Техника защиты окружающей среды. – М.: Химия, 1989. – 512 с.

|     |      |          |        |      |                      |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |          |        |      | Пояснювальна записка | Арк. |
|     |      |          |        |      |                      | 50   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## Додаток 1

| Позиція | Назва обладнання                                | Тип і марка | Кількість | Розміри |
|---------|---|-------------|-----------|---------|
|         | Технологічна схема                              |             |           |         |
| 1       | Приймальна камера                               |             |           |         |
| 2,3     | Катіонообмінний фільтр I, II ступеню            |             |           |         |
| 4       | Резервуар пом'якшеної води                      |             |           |         |
| 5       | Фільтр із залізним завантаженням                |             |           |         |
| 6       | Аніонообмінний фільтр                           |             |           |         |
| 7       | Насоси  |             |           |         |
| 8,9     | Витратні баки NaCl                              |             |           |         |
| 10      | Витратний бак $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ |             |           |         |
| 11,12   | Резервуар регенераційних розчинів               |             |           |         |
| 13      | Витратний бак NaOH                              |             |           |         |
| 14      | Витратний бак $\text{Na}_2\text{CO}_3$          |             |           |         |
| 15      | Реактор і відстійник                            |             |           |         |
| 16,20   | Шламосховище                                    |             |           |         |
| 17      | Стрічковий фільтр                               |             |           |         |
| 18      | Бак очищеної NaCl                               |             |           |         |
| 19      | Нейтралізатор                                   |             |           |         |
|         |   |             |           |         |
|         |   |             |           |         |
|         |   |             |           |         |
|         |   |             |           |         |
|         |   |             |           |         |

|           |            |          |        |     |   |       |         |
|-----------|------------|----------|--------|-----|---|-------|---------|
|           |            |          |        |     | ДП ЛЕ51.30.019.ПЗ                                     |       |         |
| Змн.      | Лист       | № докум. | Підпис | Дат |   |       |         |
| Розроб.   | Ромас Д.К. |          |        |     | Технологічна<br>схема                                 |       |         |
| Перевір.  | Трус І.М.  |          |        |     |   |       |         |
| Реценз.   |            |          |        |     |   |       |         |
| Н. Контр. |            |          |        |     |   |       |         |
| Затверд.  |            |          |        |     |   |       |         |
|           |            |          |        |     | Літ.  | Аркуш | Аркушів |
|           |            |          |        |     |   | 51    | 55      |
|           |            |          |        |     | КПІ ім. Ігоря Сікорського<br>Каф. ЕтаТРП<br>Гр. ЛЕ-51 |       |         |

|      |  |  |  |  |
|------|--|--|--|--|
|      | Потоки:                                |  |  |  |
| I    | Подача води на очищення                |  |  |  |
| II   | Подача води до споживача               |  |  |  |
| III  | Подача води на промивку                |  |  |  |
| IV   | Подача регенераційного розчину         |  |  |  |
| V    | Подача води на розведення реагентів    |  |  |  |
| VI   | Подача NaOH                            |  |  |  |
| VII  | Подача Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> |  |  |  |
| VIII | Скид води після спущення               |  |  |  |
| IX   | Скид промивних вод                     |  |  |  |
| X    | Стоки після регенерації                |  |  |  |
| XI   | Осад до фільтр-пресу                   |  |  |  |
| XII  | Подача очищеної NaCl для регенерації   |  |  |  |
|      |  |  |  |  |
|      |  |  |  |  |
|      |  |  |  |  |
|      |  |  |  |  |
|      |  |  |  |  |
|      |  |  |  |  |
|      |  |  |  |  |
|      |  |  |  |  |
|      |  |  |  |  |
|      |  |  |  |  |
|      |  |  |  |  |

|           |            |          |        |     |                           |  |  |   |       |         |    |  |
|-----------|------------|----------|--------|-----|---------------------------|--|--|---|-------|---------|----|--|
|           |            |          |        |     | ДП ЛЕ51.30.019.ПЗ         |  |  |   |       |         |    |  |
| Змн.      | Лист       | № докум. | Підпис | Дат | Технологічна<br><br>схема |  |  | Літ.  | Аркуш | Аркушів |    |  |
| Розроб.   | Ромас Д.К. |          |        |     |                           |  |  |   |       | 51      | 55 |  |
| Перевір.  | Трус І.М.  |          |        |     |                           |  |  | КПІ ім. Ігоря Сікорського<br>Каф. ЕтаТРП<br>Гр. ЛЕ-51 |       |         |    |  |
| Реценз.   |            |          |        |     |                           |  |  |   |       |         |    |  |
| Н. Контр. |            |          |        |     |                           |  |  |   |       |         |    |  |
| Затверд.  |            |          |        |     |                           |  |  |   |       |         |    |  |

| Позиція  | Назва обладнання                                  | Тип і марка | Кількість | Розміри |
|----------|---|-------------|-----------|---------|
| 1        | Кабінет начальника цеху                           |             | 1         |         |
| 2        | Кімната чергового та технічного персоналу         |             | 1         |         |
| 3        | Побутові приміщення для чоловіків                 |             | 1         |         |
| 4        | Побутові приміщення для жінок                     |             | 1         |         |
| 5        | Приймальна камера                                 |             | 1         |         |
| 6,7      | Катіонообмінний фільтр                            |             | 2         |         |
| 8,9      | Бак NaCl  |             | 3         |         |
| 10       | Резервуар очищеної води                           |             | 1         |         |
| 11,12,13 | Резервуар кислих стоків                           |             | 3         |         |
| 14       | Витратний бак NaOH                                |             | 1         |         |
| 15       | Витратний бак Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>     |             | 1         |         |
| 16       | Реактор   |             | 1         |         |
| 17       | Стрічковий фільтр                                 |             | 1         |         |
| 18       | Шламосховище                                      |             | 1         |         |
| 19       | Блок фільтрів                                     |             | 4         |         |
| 20       | Аніонообмінний фільтр                             |             | 1         |         |
| 21       | Резервуар регенераційного стоків                  |             | 1         |         |
| 22       | Бак Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |             | 1         |         |
|          |   |             |           |         |
|          |   |             |           |         |
|          |   |             |           |         |
|          |   |             |           |         |
|          |   |             |           |         |

|           |            |          |        |     |                        |                           |       |
|-----------|------------|----------|--------|-----|------------------------|---------------------------|-------|
|           |            |          |        |     | ДП ЛЕ51 30.00.019ПЗ    |                           |       |
| Змн.      | Лист       | № докум. | Підпис | Дат |                        |                           |       |
| Розроб.   | Ромас Д.К. |          |        |     | План на<br>відм.+0.000 |                           |       |
| Перевір.  | Трус І.М.  |          |        |     |                        |                           |       |
| Реценз.   |            |          |        |     |                        |                           |       |
| Н. Контр. |            |          |        |     |                        |                           |       |
| Затверд.  |            |          |        |     |                        |                           |       |
|           |            |          |        |     |                        | Літ.                      | Аркуш |
|           |            |          |        |     |                        |                           | 53    |
|           |            |          |        |     |                        |                           | 55    |
|           |            |          |        |     |                        | КПІ ім. Ігоря Сікорського |       |
|           |            |          |        |     |                        | Каф. ЕтаТРП               |       |
|           |            |          |        |     |                        | Гр. ЛЕ-51                 |       |

### Додоток 3

[illegible]

|           |            |          |        |     |                     |  |  |       |         |
|-----------|------------|----------|--------|-----|---------------------|--|--|-------|---------|
|           |            |          |        |     | ДП ЛЕ51 30.00.019ПЗ |  |  |       |         |
|           |            |          |        |     |                     |  |  |       |         |
| Змн.      | Лист       | № докум. | Підпис | Дат | Поздовжній розріз   | Літ.   |  | Аркуш | Аркушів |
| Розроб.   | Ромас Д.К. |          |        |     |                     |  |  | 55    | 55      |
| Перевір.  | Трус І.М.  |          |        |     |                     |  |  |       |         |
| Реценз.   |            |          |        |     |                     |  |  |       |         |
| Н. Контр. |            |          |        |     |                     |  |  |       |         |
| Затверд.  |            |          |        |     |                     |  |  |       |         |
|           |            |          |        |     |                     | КПІ ім. Ігоря Сікорського<br>Каф. ЕмТРП<br>Гр. ЛЕ-51 |  |       |         |

## Додаток 3

[illegible]

|           |      |            |        |     |                        |   |       |         |
|-----------|------|------------|--------|-----|------------------------|---|-------|---------|
|           |      |            |        |     | ДП ЛЕ51 30.00.019ПЗ    |   |       |         |
|           |      |            |        |     |                        |   |       |         |
| Змн.      | Лист | № докум.   | Підпис | Дат | План на<br>відм.+0.000 | Літ.  | Аркуш | Аркушів |
| Розроб.   |      | Ромас Д.К. |        |     |                        |   |       |         |
| Перевір.  |      | Трус І.М.  |        |     |                        |   | 54    | 55      |
| Реценз.   |      |            |        |     |                        | КПІ ім. Ігоря Сікорського<br>Каф. ЕтаТРП<br>Гр. ЛЕ-51 |       |         |
| Н. Контр. |      |            |        |     |                        |   |       |         |
| Затверд.  |      |            |        |     |                        |   |       |         |